WILLIAM NORDHAUS

PREMIO NOBEL DE ECONOMÍA 2018

EL CASINO DEL CLIMA

POR QUÉ NO TOMAR MEDIDAS CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO CONLLEVA RIESGO Y GENERA INCERTIDUMBRE

Traducción de Diego Sánchez de la Cruz

«Un libro único sobre el calentamiento global escrito por un brillante economista». *The New York Times*

DEUSTO

Índice

SINOPSIS

El cambio climático está alterando profundamente nuestro mundo, de una forma que presenta un gran riesgo para las sociedades humanas y los sistemas naturales.

En este libro, William Nordhaus, ganador del premio Nobel de Economía, nos ofrece con un lenguaje accesible un nuevo análisis de por qué las políticas anteriores no lograron reducir las emisiones de dióxido de carbono, cómo pueden tener éxito los nuevos enfoques y qué políticas serán las que reduzcan las emisiones de manera más efectiva. En resumen, aclara un problema acuciante de nuestro tiempo y nos enseña los próximos pasos cruciales para desacelerar la trayectoria del calentamiento global.

El casino del clima

Por qué no tomar medidas contra el cambio climático conlleva riesgo y genera incertidumbre

WILLIAM NORDHAUS

Traducción de Diego Sánchez de la Cruz





Para Annabel, Margot y Alexandra

PRIMERA PARTE

La génesis del cambio climático

El riesgo se mueve de forma inversa al conocimiento.

IRVING FISHER

1

Entendiendo el «casino del clima»

Si lees el periódico, escuchas la radio o lees noticias por internet, estoy seguro de que te resultará virtualmente imposible esquivar el incesante goteo de noticias referidas al cambio climático.

Aquí va un resumen de ideas que seguro te resultarán familiares:

La última década ha sido la más caliente de todos los registros conocidos.
La verdad más incómoda es que ha pasado más de una década y no se está produciendo el calentamiento global que se había anunciado.
Los osos polares podrían desaparecer durante el próximo siglo.
Las afirmaciones referidas al cambio climático son una farsa.
La capa de hielo de Groenlandia se está derritiendo a una velocidad récord.[1]

Claramente, el calentamiento global es un asunto al que los medios prestan mucha atención. Y creo que no sorprendo a nadie cuando digo que la gente no se pone de acuerdo en esta cuestión. Hay quienes consideran que es real, pero también hay quienes dicen lo contrario. Hay también diferencias notables en cuanto a la importancia que debemos dar a esta cuestión o sus implicaciones para la sociedad. ¿Qué puede concluir un ciudadano bien informado ante tantos mensajes contradictorios? Y, si ese ciudadano acepta que el calentamiento global es un fenómeno real, ¿qué actitud debe tomar al respecto? ¿Cómo jerarquizamos este problema en relación con otros males de nuestro tiempo, como el enquistamiento del desempleo, el imparable crecimiento de la deuda pública, las guerras de baja intensidad o la proliferación nuclear?

La respuesta breve es que el calentamiento global es una amenaza significativa para las personas y la naturaleza. En este libro empleo la metáfora del «casino del clima». El crecimiento económico está produciendo cambios no intencionados pero peligrosos para el sistema

climático terrestre. Esos cambios pueden dar lugar a consecuencias imprevistas que, probablemente, serán graves. Por eso hablo del «casino»: porque estamos tirando los dados al aire y no sabemos cuál será el resultado, aunque sí podemos anticipar que algunos de los posibles resultados son muy poco deseables. De modo que ha llegado el momento de empezar a desgranar esta compleja cuestión. En este libro encontrarás comentarios relacionados con la ciencia, la economía y la política. Mi objetivo último es describir los pasos necesarios para frenar el daño medioambiental que estamos causando.

Una hoja de ruta para lo que está por venir

El calentamiento global es uno de los asuntos más preocupantes de nuestro tiempo. Al igual que los conflictos armados o las depresiones económicas, se trata de una fuerza que marca de forma definitiva el paisaje humano y natural del presente y el futuro. Estamos, además, ante un tema complejo. Su alcance afecta a disciplinas muy diversas, desde la ciencia climática más básica hasta la ecología, la ingeniería, la política, la economía o las relaciones internacionales. El resultado es este libro, que he dividido en múltiples capítulos. Para entender mejor las páginas que siguen, creo que es oportuno presentar una hoja de ruta que describe lo que está por venir.

El casino del clima se divide en cinco partes. La primera constituye un repaso de la ciencia del cambio climático. Se trata, sin duda, de un campo dinámico que, no obstante, presenta ciertos elementos esenciales que podemos considerar como principios sobradamente aceptados y establecidos por los científicos que se ocupan de esta cuestión.

La causa última del cambio climático es la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo o el gas natural. De dicha práctica se siguen emisiones de dióxido de carbono (CO_2). Gases como el CO_2 reciben la calificación de «gases de efecto invernadero» (GEI, también GHG por su denominación en inglés, *greenhouse gases*). Se trata de gases que se acumulan en la atmósfera y se mantienen en la misma durante un período prolongado. Una mayor concentración de GEI conduce a un calentamiento de la superficie terrestre y oceánica. Estos efectos iniciales de calentamiento

se amplifican a través de distintos procesos de retroalimentación presentes en la atmósfera, los océanos, las capas de hielo o los sistemas biológicos. El impacto resultante incluye cambios en las temperaturas medias y extremas, alteraciones en los patrones de lluvias y muchos otros cambios referidos a las tormentas, los bancos de nieve, el desbordamiento de cauces fluviales, la disponibilidad de agua, las capas de hielo... Todos estos procesos tienen impactos significativos en actividades biológicas y humanas que son sensibles a la evolución del clima.

Los climas del pasado, que han abarcado desde la ausencia de hielo hasta una situación de predominio de la nieve, han sido impulsados por fuentes naturales. El cambio climático actual está causado, en gran medida, por actividades humanas. El principal factor que genera el calentamiento global son las emisiones de CO_2 que se derivan de la quema de combustibles fósiles. La concentración en la atmósfera de CO_2 era de 280 partículas por millón (ppm) en 1750, y hoy alcanza las 390 ppm. Los modelos predictivos nos dicen que, a no ser que adoptemos medidas enérgicas para reducir los combustibles fósiles, estos indicadores se moverán entre las 700 y 900 ppm en el año 2100. Según los modelos climáticos, esto generará un aumento de entre 3 y 5 grados centígrados en la temperatura media de la Tierra, paso previo a un calentamiento aún mayor en épocas posteriores. De modo que, salvo que se frene notablemente el crecimiento económico o se produzcan fuertes avances en las reducciones de CO_2, podemos anticipar un volumen creciente de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, de lo que se deriva un mayor calentamiento global, con las consecuencias que esto acarrea.

La segunda parte analiza el impacto del cambio climático. Las principales preocupaciones en este ámbito no están ligadas directamente con las temperaturas registradas, sino con los efectos que tienen dichas temperaturas sobre los sistemas humanos y naturales. Para hablar del impacto del cambio climático es vital analizar si un sistema es manejable o no. Por ejemplo, en los sectores no agrícolas de los países más desarrollados el sistema productivo actual es relativamente manejable, de

modo que es posible acelerar la adaptación al cambio climático con un coste relativamente bajo y en un plazo relativamente breve (que, en cualquier caso, implica varias décadas).

Sin embargo, muchos sistemas humanos y naturales no están manejados e incluso podrían describirse como imposibles de manejar. Esto hace que sean más vulnerables al cambio climático futuro. Puede que algunos países o algunos sectores se lleguen a beneficiar del cambio climático, pero también es cierto que se anticipan importantes disrupciones en áreas que están muy profundamente ligadas a sistemas físicos que son sensibles a los cambios en las condiciones del clima. Los daños potenciales se concentrarán, probablemente, en países de rentas bajas y clima tropical, especialmente en África, América Latina, países costeros y el subcontinente indio. Entre los sistemas vulnerables podemos identificar la agricultura que bebe de la lluvia, los bancos de nieve estacionales, las comunidades costeras, los ríos de gran caudal y los ecosistemas naturales. El impacto potencial en estas áreas es muy serio.

Los científicos se preocupan especialmente por los llamados «puntos de inflexión» que podrían llegar a alcanzar los sistemas terrestres. Esto ocurriría de producirse cambios súbitos o irreversibles a partir de distintos procesos capaces de alterar los sistemas actuales. Como muchos de estos ámbitos no pueden ser manejados de manera efectiva por los seres humanos y las tecnologías disponibles, esta perspectiva entraña una especial gravedad. Cuatro ejemplos relevantes de «puntos de inflexión» serían un derretimiento veloz de grandes capas de hielo (como en Groenlandia), cambios de gran escala en la circulación de los océanos (como en las corrientes del Golfo), procesos de retroalimentación mediante los cuales un aumento del calentamiento motive repuntes adicionales de las temperaturas o subidas generalizadas y de largo plazo en los termómetros. Estos «puntos de inflexión» son particularmente peligrosos, puesto que no se pueden revertir con facilidad una vez se han superado.

La tercera parte se centra en los aspectos económicos de las distintas estrategias que aspiran a frenar el avance del cambio climático. Hay muchas propuestas encima de la mesa, pero la más prometedora es la referida a la «mitigación», es decir, la reducción de emisiones de CO_2 y otros GEI.

Desafortunadamente, este enfoque tiene el problema de ser demasiado costoso. Se estima que alcanzar los límites de emisiones pactados a nivel internacional requiere un desembolso comprendido entre 600.000 y 1 billón doscientos mil de millones de dólares anuales, cifra que equivale al 1-2 por ciento de la renta mundial y que presupone un uso eficiente de los recursos aflorados. Siempre cabe la posibilidad de que aparezcan nuevas tecnologías con las que se pueden reducir estos costes de manera dramática y casi milagrosa, pero la mayoría de expertos no anticipa algo así en el futuro cercano.

La economía del cambio climático no es excesivamente difícil de entender. Si quemamos combustibles fósiles, emitimos más CO_2 a la atmósfera, lo cual conlleva impactos potencialmente dañinos para el medio ambiente. Eso es lo que llamamos «externalidad». Se produce cuando quienes producen las emisiones no pagan por ello y cuando quienes sufren los daños no reciben compensación. Una lección muy importante que se deriva de la ciencia económica es que los mercados no regulados difícilmente pueden lidiar con las externalidades negativas de manera eficiente. En este caso, los mercados no regulados conllevan una excesiva emisión de CO_2, puesto que no se exige un pago por los daños causados. Hablamos, además, de una externalidad particularmente espinosa, puesto que el calentamiento es un fenómeno de gran alcance en cuanto a espacio (global) y tiempo (décadas e incluso siglos).

La economía nos ayuda a aceptar una verdad incómoda sobre las políticas ortodoxas contra el cambio climático. Por mucho que las recetas y soluciones aportadas suelan ignorar esta cuestión, una solución efectiva pasa necesariamente por aumentar el precio de emitir CO_2 u otros GEI. Ponerle un precio a las emisiones ayuda a corregir la infravaloración de esta externalidad observada en un contexto de mercado no regulado. Los precios pueden elevarse de distintas formas. Se puede crear un mercado de derechos de emisiones o se puede introducir un impuesto sobre el carbono emitido a la atmósfera. Una conclusión central de la historia económica es la relacionada con la importancia y el poder que tienen los incentivos. Para frenar el cambio climático, los incentivos deben aplicarse a millones de empresas y miles de millones de personas. Por esta vía, se podrá reemplazar

el actual patrón de consumo, basado en combustibles fósiles, por actividades bajas en emisiones. No hay señal más efectiva para lograrlo que aumentar el precio derivado de contaminar.

Subir el precio del carbono consigue cuatro grandes objetivos. En primer lugar, envía una señal a los consumidores para que sepan qué bienes y servicios producen una mayor contaminación. Esto hará que las personas reduzcan recurrir a dichos bienes y servicios, aminorando el consumo total de los mismos. En segundo lugar, envía una señal a los productores sobre qué *inputs* de su proceso productivo son más intensivos en carbono (caso del carbón o el petróleo), abriendo la puerta a un mayor uso de fórmulas menos contaminantes (desde el gas natural a la energía eólica). Por esta vía, las empresas se mueven progresivamente hacia un entorno tecnológico más sostenible. En tercer lugar, el mercado ofrece incentivos más poderosos para que los inventores, innovadores e inversores destinen más recursos a la financiación, el desarrollo y la comercialización de nuevos productos y procesos cuyo desempeño medioambiental sea menos dañino. En cuarto y último lugar, subir el precio del carbono economiza los procesos de información y ayuda a que los tres puntos anteriores se desarrollen con más rapidez y dinamismo.

La cuarta parte del libro examina algunas preguntas capitales para la adopción de políticas contra el cambio climático. ¿Cuánto deben reducir los países sus emisiones de CO_2 y otros GEI? ¿Cuál es el calendario adecuado para un plan de reducción de dichas emisiones? ¿Es más efectivo abordar esta cuestión con impuestos, mercados de emisiones, regulaciones o subsidios?

Resulta tentador fijar grandes objetivos climáticos como metas rígidas que debemos alcanzar a tenor de patrones históricos en materia ecológica. Sin embargo, la economía recomienda un análisis más flexible, basado en un análisis coste-beneficio de las posibles medidas que están encima de la mesa. Para fijar objetivos climáticos debemos tener en cuenta lo bueno y lo malo de cada opción y así buscar soluciones más equilibradas y eficientes.

Puesto que los mecanismos ligados a la lucha contra el cambio climático son muchos y complejos, economistas y científicos acostumbran a pronunciarse a partir de modelos de análisis que permiten elaborar

proyecciones de tendencias y evaluar costes y beneficios para las medidas sugeridas. Los modelos de análisis integrado permiten extraer conclusiones valiosas. Gracias a ellos sabemos que es preferible exigir ya una reducción de emisiones que esperar a hacerlo más adelante. Estos modelos también indican que las políticas más efectivas son las que procuran reflejar el coste marginal de incrementar las emisiones contaminantes, con indiferencia del sector o del país en el que se produzcan. Otra conclusión que se deriva de estos modelos es que es deseable el mayor grado de «participación» posible. Cuantos más países se unan a estas medidas, mejor. Debe penalizarse a quienes pretendan mantenerse al margen de los acuerdos climáticos. Por último, los modelos también ponen de manifiesto que la aplicación de las medidas debe ser gradual, con un endurecimiento progresivo que ayude a que las personas se adapten a un mundo en el que la contaminación acarree un precio. Esto permite apretar poco a poco las tuercas y lograr una reducción sostenida en las emisiones de carbono.

De modo que tenemos tres rasgos centrales: estas políticas deben conseguir una participación universal, tienen que reflejar el coste marginal de ser menos eficiente, y funcionan mejor si plantean un calendario que vaya de menor a mayor exigencia. Sin embargo, los principales expertos en la materia difieren significativamente a la hora de implantar estos tres principios mediante estrategias concretas. El análisis expuesto en estas páginas sugiere que las políticas aplicadas deberían procurar la limitación de las temperaturas globales hasta que se sitúen entre 2 y 3 grados centígrados por encima de los niveles preindustriales (es decir, de las cifras registradas en torno al año 1900). Determinar la cifra final cerca de los 2 o de los 3 grados dependerá de los costes, del grado de participación o de la tasa de descuento observada. Si los costes son bajos, si la participación es alta y si el impacto económico futuro acarrea una tasa de descuento reducida, entonces deberíamos acercarnos a los 2 grados centígrados como umbral de referencia. Si estuviésemos en un escenario de costes elevados y baja participación con una tasa de descuento más alta, entonces deberíamos acercarnos a los 3 grados centígrados.

Para que estas políticas sean efectivas, es fundamental que su aspiración sea de alcance global. Acuerdos del pasado como el Protocolo de Kioto fueron poco efectivos porque no incluían incentivos orientados a aumentar la participación en las políticas de reducción de emisiones. De hecho, el incentivo a no sumarse a estos acuerdos es, por lo general, alto. Al fin y al cabo, reducir emisiones requiere medidas costosas a nivel local y no arroja beneficios concentrados, sino ganancias medioambientales dispersas por todo el mundo. Por tanto, un pacto global efectivo tiene que conseguir un alto grado de participación, para que nadie se quede al margen del mismo. Quizá la fórmula más prometedora pasa por imponer aranceles a los productos y servicios de aquellos países que no se sumen a los acuerdos. Si estas trabas comerciales son lo suficientemente costosas, animarán a todos los gobiernos a sumarse a un acuerdo climático internacional.

En la quinta parte del libro se realiza una aproximación realista a la situación actual, con el objetivo de reconocer los importantes obstáculos que impiden el desarrollo de medidas efectivas contra el calentamiento global. Aunque los científicos especializados en esta cuestión han logrado importantes avances a la hora de entender las tendencias básicas con las que estamos lidiando, estos hallazgos no han sido suficientes para que se implementen políticas firmes de lucha contra el cambio climático.

Una razón importante para que no se hayan dado grandes avances es el dilema nacionalista, que fomenta el aislamiento de ciertos países ante los acuerdos globales. Aquellos gobiernos que no suscriben pactos internacionales como los que defiende este libro consiguen mantener sus estructuras económicas intactas mientras que los demás países se ven obligados a introducir cambios costosos. Este marco de incentivos genera equilibrios contrarios a la búsqueda de un equilibrio entre las partes. Por eso son pocos los países que realmente se toman en serio la adopción de políticas de reducción de las emisiones contaminantes. Se trata de una situación similar a la que vemos en el caso de los organismos multilaterales: sus dictados o pronunciamientos son influyentes, pero carecen de fuerza real para ser implementados. Para cambiar las cosas, sería interesante plantear sanciones comerciales que conlleven aranceles para los países que no desean cooperar con la mejora del clima.

Por último, también está el incentivo de trasladar los costes de una generación a otra. A menudo se minimiza el impacto a corto plazo de los acuerdos y se magnifica la promesa de ajustes en las décadas venideras. Se trata de una posición abusiva por parte de las generaciones actuales, pero que responde al anhelo de retrasar la toma de medidas que resultan costosas a corto plazo y que sólo arrojan resultados notables con el paso del tiempo.

Este obstáculo para conseguir acuerdos globales se agrava cuando están de por medio grupos de interés que emponzoñan las aguas del debate medioambiental a base de introducir críticas infundadas que disparan contra la ciencia climática y los costes económicos de frenar el calentamiento. Este discurso suele cargar las tintas en hechos anómalos o cuestiones científicas pendientes de resolución. De esta forma, desvía la atención prestada a cuestiones ya validadas sobre esta materia. En Estados Unidos, por ejemplo, vemos que es difícil introducir medidas efectivas debido a una oposición ideológica que va a más precisamente ahora que la preocupación científica también va en aumento.

Tres pasos cruciales

Los ciudadanos preocupados por la preservación del planeta se preguntan qué deberíamos hacer para frenar el alcance del calentamiento global. La respuesta no es sencilla, puesto que requiere medidas políticas, económicas, tecnológicas..., pero hay tres pasos cruciales que debemos dar si queremos tener éxito:

- En primer lugar, la población mundial tiene que entender y aceptar lo grave que es el impacto derivado del calentamiento global, tanto para los seres humanos como para la naturaleza. Los científicos deben continuar realizando investigaciones exhaustivas que cubran todo tipo de aspectos ecológicos, económicos, políticos... Es importante que la ciudadanía desconfíe de los negacionistas que siempre encuentran razones para que retrasemos durante décadas la toma de medidas adecuadas.

- En segundo lugar, los gobiernos nacionales tienen que aprobar medidas encaminadas a aumentar el precio de emitir CO_2 y otros GEI. Estas normas despertarán críticas y generarán resistencia, del mismo modo que muchos pacientes se muestran reacios a aceptar una medicina o terapia nueva. Sin embargo, a pesar de dicha oposición, es esencial actuar en este sentido y conseguir la entrada en vigor de normas que limiten las emisiones contaminantes y fomenten el desarrollo de tecnologías bajas en carbono. De esta forma, podemos empezar a contener la amenaza de un calentamiento descontrolado. En paralelo, hay que intentar que estas políticas sean globales y no sólo nacionales. La política es, por definición, un asunto inseparable de la comunidad local. Si a esto le sumamos los sentimientos y actitudes nacionalistas, parece fácil anticipar que la oposición será real. Sin embargo, no hay solución al cambio climático que no pase por acciones coordinadas a nivel global.
- En tercer lugar, es evidente que conseguir cambios tecnológicos de gran calado en el sector energético es una de las reformas clave para conseguir una economía más sostenible. Las tecnologías bajas en carbono que conocemos hoy no logran sustituir el empleo de combustibles fósiles, puesto que no hay medidas compensatorias que impongan el debido castigo a las tecnologías que sí deterioran el medio ambiente con notable intensidad. Hay que desarrollar nuevas soluciones que nos acerquen a los objetivos medioambientales deseados, y las innovaciones en este campo son uno de los puntos irrenunciables para conseguir las mejoras esperadas. Por tanto, actores públicos y privados deben colaborar intensamente para conseguir tecnologías bajas en carbono y, más aún, tecnologías de cero emisiones o incluso tecnologías que hagan un uso negativo del carbono (es decir, que no sólo no lo generen sino que ayuden a la mitigación de emisiones contaminantes nacidas de otras tecnologías).

Estos tres pasos son cruciales y, por tanto, aparecen de forma recurrente en este libro. Tenemos que concienciar a la ciudadanía, incorporar las emisiones al sistema de precios y acelerar la investigación en tecnologías

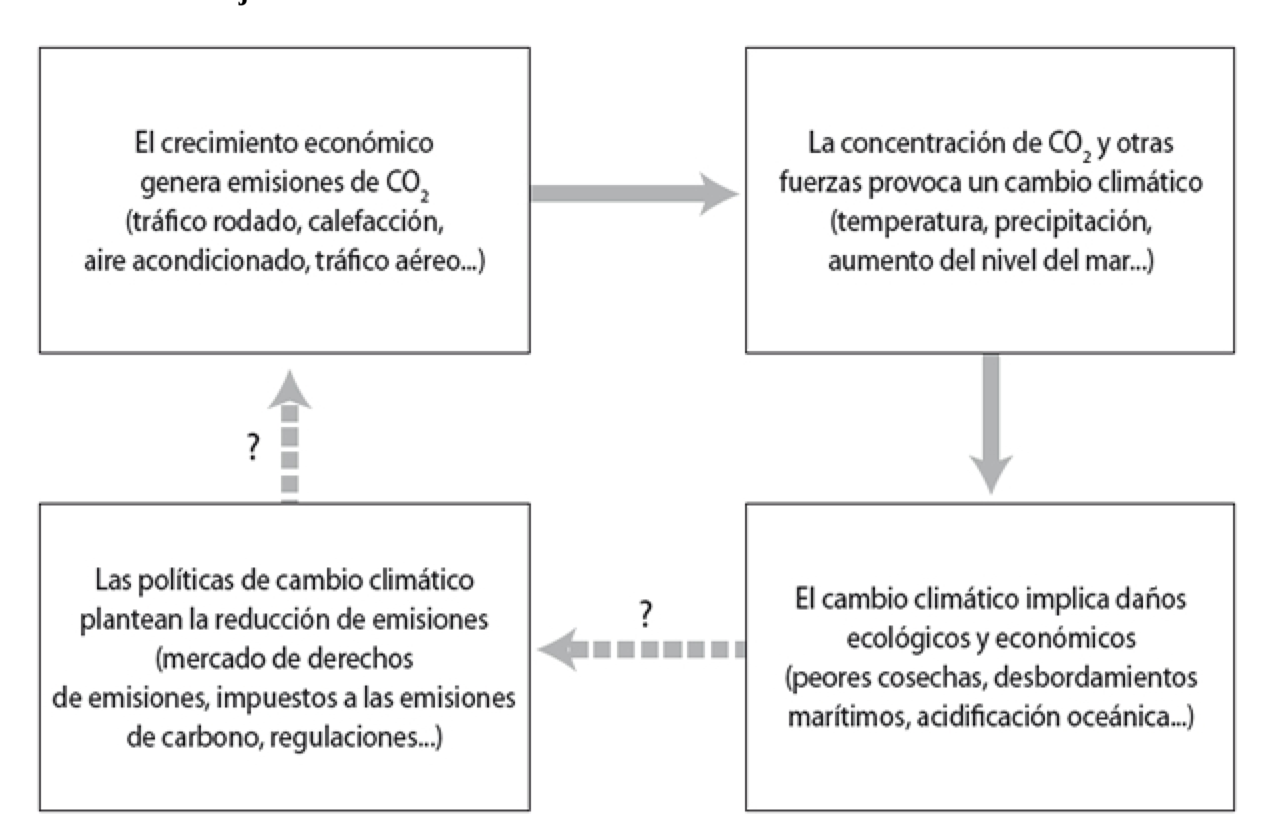
enfocadas a la descarbonización de nuestras economías.

El flujo circular del cambio climático, su impacto y su dimensión política

Para explicar mejor lo que plantea este libro, he desarrollado la figura 1, que muestra el flujo circular lógico de las emisiones a su impacto y finalmente de vuelta a las emisiones, cerrando el círculo.

Es importante dedicar un minuto a analizar la lógica de este recurso. El problema del calentamiento global empieza en la caja superior izquierda. El crecimiento económico y las distorsiones en el sistema de precios generan un aumento de las emisiones de CO_2 a la atmósfera. A continuación pasamos a la caja superior derecha. Aquí, la concentración de CO_2 y otras fuerzas genera importantes cambios en el sistema climático.

FIGURA 1 **El flujo circular del cambio climático**



A continuación, estos cambios producen un impacto en los sistemas humanos y naturales, como refleja la caja inferior derecha. De esto se sigue la respuesta social a estas amenazas, recogida en la caja inferior izquierda y relativa a posibles soluciones como la creación de mercados de derechos de emisiones, la aprobación de impuestos a las emisiones de carbono, la introducción de nuevas regulaciones...

Las flechas que unen las distintas cajas de la figura 1 recogen los vínculos existentes en toda esta dinámica, que reúne en un mismo nexo cuestiones como el clima, la economía, la política... Las dos últimas flechas aparecen dibujadas con signos de interrogación, puesto que esos vínculos aún no se han desarrollado de manera efectiva. No tenemos acuerdos internacionales efectivos orientados a limitar las emisiones de CO_2 y otros GEI. Si continuamos recorriendo el mismo camino y apenas se toman medidas para frenar el deterioro medioambiental, entonces esas flechas desaparecerán y simplemente veremos lo que recogen las primeras cajas del flujo, de modo que el planeta no encontrará soluciones para detener el peligro que entraña un calentamiento global descontrolado.

2

La historia de los dos lagos

Aunque la Tierra es enorme y parece sobrevivir a todo tipo de agravios perpetrados por los humanos, la vida en nuestro planeta entraña un sistema frágil, lleno de organismos que están unidos entre sí y que forman una compleja red de relaciones que se mantiene gracias al calor del sol y la protección de la atmósfera. Basta con contemplar la luna, que recibe anualmente una cantidad de radiación solar muy similar a la Tierra, para reconocer la contingencia de nuestros sistemas terrestres. Quizá los sistemas vivos han evolucionado en otras partes del universo, pero lo que parece altamente improbable es que los sistemas vivos de nuestra Tierra (plantas, animales y civilizaciones humanas incluidos) puedan aparecer en otro lugar. La vida en la Tierra es algo único.[2]

Para ilustrar la fragilidad de la vida en la Tierra, quisiera compartir con el lector una historia de dos lagos. El primero es, en realidad, una pequeña cadena de estanques salados ubicada al sur de Nueva Inglaterra, una zona que suelo visitar cada verano.[3] Hace 20.000 años, durante la última era glacial, lo que ahora es Nueva Inglaterra era una gran masa sepultada bajo una gran montaña de hielo. Los estanques salados fueron emergiendo conforme los glaciares iban perdiendo terreno. Hoy en día, estos estanques salados son un hogar o una estación de paso para chorlitos, charranes, cangrejos, medusas multicolores... Además, por el flanco oceánico de estos estanques se encuentran largas playas con enormes dunas arenosas.

Estos estanques son espacios naturales vulnerables, puesto que están sujetos a todo tipo de impactos. Desarrollos inmobiliarios, huracanes y actividades deportivas con lanchas a motor..., todo eso confluye en este entorno tan valioso y delicado. Conservacionistas, ecologistas y expertos

medioambientales llevan años exigiendo un mejor cuidado de la zona, lo que ha despertado un enfrentamiento entre fuerzas de preservación y fuerzas de degradación.

¿Qué aspecto tendrán los estanques salados de Nueva Inglaterra dentro de un siglo? La respuesta a esta pregunta depende de nuestras acciones en los próximos años. Si logramos detener el cambio climático, estos espacios naturales serán tan hermosos como lo son hoy en día. Pero si las emisiones de CO_2 continúan aumentando de manera descontrolada, veremos que dichos espacios pueden terminar convertidos en marismas muertas debido al efecto del calentamiento, la alteración química de los océanos y el aumento de los niveles marítimos.

La situación del segundo lago es mucho peor. Me refiero al mar de Aral, ubicado en Asia Central. En su momento, era el cuarto lago más grande del mundo. Sin embargo, su superficie se viene reduciendo desde hace cincuenta años, y ha pasado de más de 65.000 kilómetros cuadrados a una décima parte de dicho tamaño. Semejante reducción equivaldría a empequeñecer el estado de Nueva York hasta dejarlo con una superficie similar al territorio de Connecticut.[4]

¿Qué provocó este desastre? No se trató de ningún evento climático extremo, tampoco del efecto de una guerra o de la explotación despiadada por parte de alguna empresa. La causa fue, principalmente, la mala planificación económica de la Unión Soviética, cuyos cerebros decidieron desviar los ríos que alimentaban el mar de Aral para suministrar agua a otras regiones.[5] Hoy, el lago se está muriendo lentamente, como ocurriría si cortásemos la alimentación suministrada a cualquier persona.

Esta historia de dos lagos resume de forma sencilla la narrativa que pretende cultivar este libro. Los seres humanos controlamos el futuro del planeta. La vida de sus lagos, bosques y océanos está ligada al tratamiento que les brindamos. El calentamiento global es una fuerza destructiva devastadora para el medio ambiente. Su deterioro no se debe sólo al cambio climático, puesto que también entran en juego factores como el capitalismo descontrolado, las guerras, la falta de sensatez y de responsabilidad de muchos dirigentes políticos o la lacra de la pobreza.

Sin embargo, este trabajo se centra en el calentamiento global. El buen análisis científico, el acierto a la hora de planificar y diseñar acciones preventivas, el apuntalamiento de instituciones públicas efectivas y el buen funcionamiento de las fuerzas del mercado pueden ayudarnos a preservar el patrimonio único que nos rodea.

En *El casino del clima* se habla, por tanto, del daño que genera el cambio climático en la naturaleza y de los costes que se derivan de ese deterioro. Los seres humanos hemos contribuido al calentamiento global de forma progresiva. Hoy, hemos alcanzado un punto de inflexión que exige tomar medidas. Debemos frenar el crecimiento descontrolado de las emisiones de GEI, especialmente de las emisiones generadas por el empleo de combustibles fósiles. Si al final del presente siglo no lo hemos logrado, el futuro de la Tierra se presenta poco prometedor.

Una perspectiva personal

El propósito de este libro es hablar del calentamiento global con perspectiva de largo plazo, para que los lectores preocupados por esta cuestión puedan entender mejor el fenómeno y formarse un criterio al respecto. En *El casino del clima*, discuto el problema de manera exhaustiva, explicando cómo nuestro consumo individual de energía inicia el ciclo contaminante, pero ofreciendo también una perspectiva nacional e internacional orientada a sugerir medidas para reducir los peligros del calentamiento global.

Este libro será de interés para aquellos lectores que quieran aprender lo que la ciencia y la economía tienen que decir sobre el calentamiento global. Es importante mantener una actitud abierta ante estas cuestiones. Si el lector ya está convencido de que el calentamiento global es sólo una vasta conspiración de la izquierda política para lanzar todo tipo de medidas intervencionistas orientadas a controlar nuestras vidas, dudo que su opinión vaya a cambiar al final de la lectura del ensayo. Si está en el polo opuesto y ha llegado a la conclusión de que el mundo se dirige sí o sí al Armagedón climático, entonces también puede descartar este libro, puesto que no le resultará lo suficientemente preocupado ante tal amenaza.

Sin embargo, la opinión de la mayoría de la gente se sitúa en algún punto intermedio. La competencia entre argumentos alarmistas y escépticos puede hacer que la cosa parezca casi un pleito entre abogados. Por tanto, para hablar de forma más directa al ciudadano común, este libro escucha los argumentos de ambos lados y revisa la evidencia empírica disponible del modo más justo e imparcial posible. Mi meta es ofrecerle al lector los mejores y más reveladores hallazgos que la ciencia y la economía han aportado en este campo.

Este pequeño apartado habla de «una perspectiva personal». Al igual que con cualquier tema de investigación científica, existen de sobra para analizar esta cuestión, pero esos datos requieren de un enfoque, de una mirada que será inevitablemente diferente dependiendo de cada observador. No obstante, creo que mi perspectiva se beneficia de haber estudiado el tema en cuestión de forma cuidadosa, considerando investigaciones propias pero también las de muchos otros expertos. Sólo de esta forma podemos llegar a una comprensión más completa del asunto.

¿Y cuál es mi perspectiva? Soy economista y trabajo en una universidad en la que desempeño labores de docencia e investigación. He escrito mucho sobre distintas áreas de la economía, pero mi especialización está en la macroeconomía y en la economía del medio ambiente. Soy el coautor de un libro de texto de introducción a la economía que ya va camino de su vigésima edición, de modo que tengo experiencia y aprecio por las personas que se enfrentan con ideas completamente nuevas. Además, he estudiado y escrito sobre la economía del calentamiento global durante más de tres décadas. Desde que se empezó a hablar de estas cuestiones, he elaborado investigaciones sobre el tema, en un primer momento con el apoyo de la Academia Nacional de Ciencias de mi país. He escrito tres libros y varias decenas de artículos académicos sobre el vínculo entre economía y calentamiento global. En la universidad, imparto cursos sobre energía y cambio climático a jóvenes estudiantes que están completando su formación superior. Mi experiencia en todos estos ámbitos me ha convencido de que es importante «enfriar» el debate y plantear la cuestión climática de forma serena.

Quizá el lector se preguntará qué diferencia este libro de otros trabajos sobre el calentamiento global. Más aún, habrá quien se preguntará si un economista es la persona adecuada para referirse a un ámbito que, por lo general, aparece reservado a los científicos. Sin duda, es cierto que las ciencias naturales son esenciales para entender por qué se produce el cambio climático o cuáles son sus dimensiones en el espacio y el tiempo. Sin entender esa base científica, es imposible hablar del tema con propiedad. Pero el calentamiento global empieza y termina en acciones humanas. Empieza como un efecto no deseado de todo tipo de actividades económicas, desde cultivar alimentos hasta calentar nuestros hogares o desplazarnos en automóvil para llevar a nuestros hijos a la escuela. Y, para entender un análisis de estos procesos, tenemos que entender también esos sistemas a los que se dedican ciencias sociales como la economía.

Por otro lado, si se trata de diseñar medidas efectivas que contribuyan a frenar o prevenir el cambio climático, no podemos hablar sólo de cuestiones rígidas como las que entrañan las ciencias de la física, la química o el medio ambiente, sino que también tenemos que incorporar un entendimiento de otras disciplinas más fluidas y subjetivas, como son la economía y la política, dos campos muy ligados a la acción y el comportamiento del ser humano. Nuestras políticas de lucha contra el cambio climático tienen que descansar sobre sólidos argumentos científicos, pero todo eso no será suficiente para que la gente altere sus patrones de consumo económico y energético. Para lograrlo, hace falta introducir medidas basadas en un entendimiento profundo del comportamiento humano. Sólo así podremos redirigir el crecimiento económico hacia un entorno bajo en carbono. Por tanto, aunque es importante entender la dimensión científica del problema, también hay que conocer la dimensión política y económica, puesto que sólo por esa vía podremos solucionar el calentamiento global.

Escribí este libro pensando en la gente joven. De hecho, se lo he dedicado a mis nietos. Ellos y su generación heredarán este mundo y lo disfrutarán durante buena parte del siglo XXI. Al final de ese período, el planeta será muy distinto de lo que es ahora. La condición medioambiental del planeta dependerá de los pasos que demos en los próximos cien años. Frenar el calentamiento global es, quizá, lo más importante que podemos

hacer para que el mundo del año 2100 sea mejor que el actual en todo lo tocante al medio ambiente. Espero que nuestros nietos puedan echar la vista atrás y agradecer a las generaciones anteriores el coraje que tuvieron a la hora de frenar un deterioro peligroso que, de lo contrario, entraña una profunda amenaza para la Tierra.

3

Los orígenes económicos del cambio climático

La mayoría de la gente cree que el calentamiento global es un asunto exclusivamente ligado a las ciencias naturales. Por tanto, involucra estudios sobre fenómenos como las olas de calor, las capas de hielo que se derriten, las sequías o las tormentas. Es cierto que dichas controversias científicas son cruciales en los debates públicos sobre el calentamiento global. Sin embargo, tanto la fuente del problema como la solución al mismo están en otro ámbito: el de las ciencias sociales.

¿Por qué el cambio climático es un problema económico?

Demos un paso atrás y hagámonos una pregunta sencilla: ¿Por qué el calentamiento global es un problema tan distinto a los demás? ¿Por qué es un asunto internacional y no un problema nacional o local? ¿Por qué es un reto tan persistente?

La economía del cambio climático es razonablemente sencilla. Prácticamente todas las actividades económicas que desarrolla el hombre acarrean, directa o indirectamente, el empleo de combustibles fósiles. Esto resulta en emisiones de dióxido de carbono (CO_2) que terminan en la atmósfera. Ese CO_2 se va acumulando a lo largo de muchas décadas, contribuyendo a cambios en el clima de la Tierra que tienen efectos potencialmente dañinos.

El problema último con el que lidiamos es que quienes producen esas emisiones no pagan por tal «privilegio», mientras que los perjudicados no reciben una «compensación». Si compramos una lechuga, pagamos en el mercado por el coste de producirla, de modo que agricultores y distribuidores reciben una compensación por su esfuerzo. Pero si la

producción de esa lechuga requiere la combustión de combustibles fósiles, por ejemplo para bombear el agua que irrigó el campo de cultivo o para abastecer el camión que llevó la lechuga del campo a la ciudad, entonces también debería cubrirse ese coste, puesto que el CO_2 acarrea daños medioambientales.

Los economistas llamamos externalidad a tales costes, puesto que están «fuera» de las transacciones del mercado, en las que no vienen reflejados. Se trata de un fenómeno producido por actividades económicas que causan daños a terceros que nada tienen que ver con las mismas. También hay literatura económica que define las externalidades como «bienes públicos», aunque emplearemos el primer término por ser más intuitivo.

La vida está llena de externalidades. Una empresa que vierte residuos y daña la vida animal de un río está incurriendo en una externalidad negativa. Sin embargo, también puede haber externalidades positivas. Por ejemplo, si un investigador descubre una vacuna contra la polio, el beneficio irá más allá de su proyecto y llegará a toda la humanidad. No obstante, el calentamiento global es el Goliat de las externalidades, puesto que implica muchas actividades, afecta a todo el planeta, abarca décadas e incluso siglos y no puede ser revertido mediante cambios aislados.

Estamos, además, ante una externalidad particularmente espinosa, puesto que su alcance es mundial. Muchos de los males que aquejan hoy a la humanidad tienen esa dimensión: el cambio climático, el agotamiento de la capa de ozono..., pero también las crisis financieras, la crisis cibernética, los vaivenes en los precios del crudo, la proliferación nuclear... El denominador común de estos males es que afectan a todo el planeta y también están por encima del control ordinario que generan en tantos otros ámbitos las fuerzas del mercado y las decisiones de los gobiernos. Estas externalidades globales no son fenómenos completamente nuevos, pero sí están manifestando su impacto negativo de forma creciente debido al acelerado ritmo con el que se consolidan los cambios tecnológicos y los procesos de la globalización.

Por lo tanto, el calentamiento global es un problema especial por dos razones centrales: primero, es una externalidad de alcance mundial que está siendo causada por personas de todo el mundo que, a diario, desarrollan

actividades en las que se procede al uso de combustibles fósiles y otras fuentes de energía negativas para el clima; segundo, proyecta una alargada sombra en el futuro, puesto que pone en duda lo que ocurrirá con el mundo, la humanidad y los sistemas naturales, extendiendo dicha incógnita por décadas e incluso siglos.

La economía nos enseña una lección valiosa sobre las externalidades: los mercados no resuelven automáticamente los problemas que generan. En el caso de externalidades negativas como el CO_2, los mercados no regulados producen por encima de los niveles medioambientalmente sostenibles porque no se impone un precio a las emisiones contaminantes. Por ejemplo, el precio de mercado del combustible que pagan las aerolíneas no refleja el coste de las emisiones de CO_2, de modo que los billetes son artificialmente baratos y el tráfico aéreo crece demasiado.

Los economistas hablan de una «mano invisible» que opera en los mercados y equilibra la oferta con la demanda. Sin embargo, la no regulación de estas cuestiones hace que los precios se queden cortos a la hora de reflejar todos los costes reales de producción. En este sentido, los gobiernos tienen la responsabilidad de intervenir, regulando o gravando las actividades que generan externalidades negativas muy dañinas. Ocurre lo mismo con cualquier otra actividad: si tiene consecuencias dañinas, las administraciones tienen que ejercer un papel.

Las externalidades globales plantean dificultades especiales, porque no hay un mercado global coherente ni un mecanismo gubernamental claro que puedan hacerles frente. No existe un gobierno mundial que pueda exigir que todos participemos en una misma solución. La ausencia de ese poder hace que sea difícil detener la pesca excesiva de ballenas, como también impide controlar las tecnologías nucleares peligrosas o el lento avance del calentamiento global, la materia que nos ocupa.

El hecho de que el cambio climático sea una externalidad que afecta a los mercados de manera global es el obstáculo central que deben superar los encargados de diseñar y adoptar políticas que logren evitar los peligros que entraña.

¿Por qué aumentan las emisiones de dióxido de carbono?

Las discusiones sobre el calentamiento global comienzan generalmente con la conversación sobre las emisiones y la acumulación de CO_2 u otros GEI en la atmósfera. Sin embargo, el verdadero punto de partida es otro: hay que empezar analizando la vida humana cotidiana. Usaré mi propia experiencia, la de un estadounidense que vive en una ciudad mediana, para ilustrar este punto, aunque mi ejemplo no dista tanto de lo que podríamos desentrañar si analizamos la vida de un trabajador petrolero nigeriano, un técnico cervecero alemán o un obrero textil radicado en Indonesia.

Supongamos que me invitan a dar una charla en la Universidad de Connecticut, a unos 80 kilómetros de mi casa en New Haven. La forma más conveniente de llegar es conducir mi coche hasta dicho centro de educación superior. El viaje de ida y vuelta es de aproximadamente 160 kilómetros. Considerando el tráfico y los atascos urbanos, estimo que mi coche consumirá unos 3,5 litros de combustible cada 30 kilómetros, es decir, unos 18,5 litros en total, lo que produce una emisión de 45 kilos de CO_2, que saldrán a través del tubo de escape e irán directos a la atmósfera. Mientras conduzco y cometo ese daño medioambiental, no sólo no veo de forma visible las consecuencias de esa emisión, sino que probablemente ni siquiera pensaré en ello. Mi mente se ocupará en otras cosas, el viaje seguirá adelante y no pasará por mi cabeza ninguna reflexión sobre el impacto de mi recorrido en términos de contaminación.

El problema es que no estoy solo: hay más de 7.000 millones de personas en el mundo que toman decisiones similares de forma cotidiana. Supongamos que todos los habitantes del planeta consumen dos veces por semana lo mismo que mi viaje de ida y vuelta en coche a New Haven. Dicho consumo podría darse por la necesidad de tener calefacción, de iluminar una vivienda, de cocinar o de otras actividades. Pues bien, el impacto total supondría la emisión anual de 30.000 millones de toneladas métricas de CO_2. Esto equivale a las emisiones globales de CO_2 del año 2012, pero habría que sumar a esta cifra toda la contaminación de empresas e industrias.[6]

Prácticamente todo lo que hacemos tiene alguna emisión de CO_2 dentro del proceso. Se podría pensar que circular en bicicleta es una excepción, pero incluso ahí nos equivocamos. La fabricación de la bicicleta no está exenta de ciertas emisiones de carbono y la construcción de las carreteras que recorreré implicará aún más contaminación.

¿Por qué en el mundo utilizamos una cantidad tan importante de combustibles fósiles? Los usamos para conducir, para volar, para calentar nuestras casas y escuelas, para manejar nuestros ordenadores y para todo lo que hacemos. Casi el 90 por ciento de la energía que usamos proviene de combustibles fósiles y quemar esos combustibles genera emisiones de CO_2.

Supongamos que estamos sorprendidos por la gran cantidad de energía que empleamos, de modo que decidimos que nuestro objetivo es reducir esas emisiones contaminantes. ¿Por qué no podemos dejar de usar combustibles fósiles ahora que sabemos las consecuencias del calentamiento global? A este tema se consagran muchos apartados de la tercera parte del libro, pero es importante tocar el tema aquí.

El problema central es que no es tan fácil pasar de una fuente de energía a otra. No podemos hacer clic y cambiar de la noche a la mañana el mix energético que nos sirve, porque los costes de las energías alternativas son mucho más caros. Por lo general, cuesta mucho más nutrirse de combustibles renovables (como la energía solar) que mantener el sistema dominante. En algunos casos, de hecho, el empleo de combustibles con un bajo contenido de carbono requiere antes la acumulación de un importante stock de capital consignado a desarrollar nuevas plantas de energía, nuevas fábricas, nuevos motores, nuevos hornos... Todo esto implica desembolsos muy costosos.

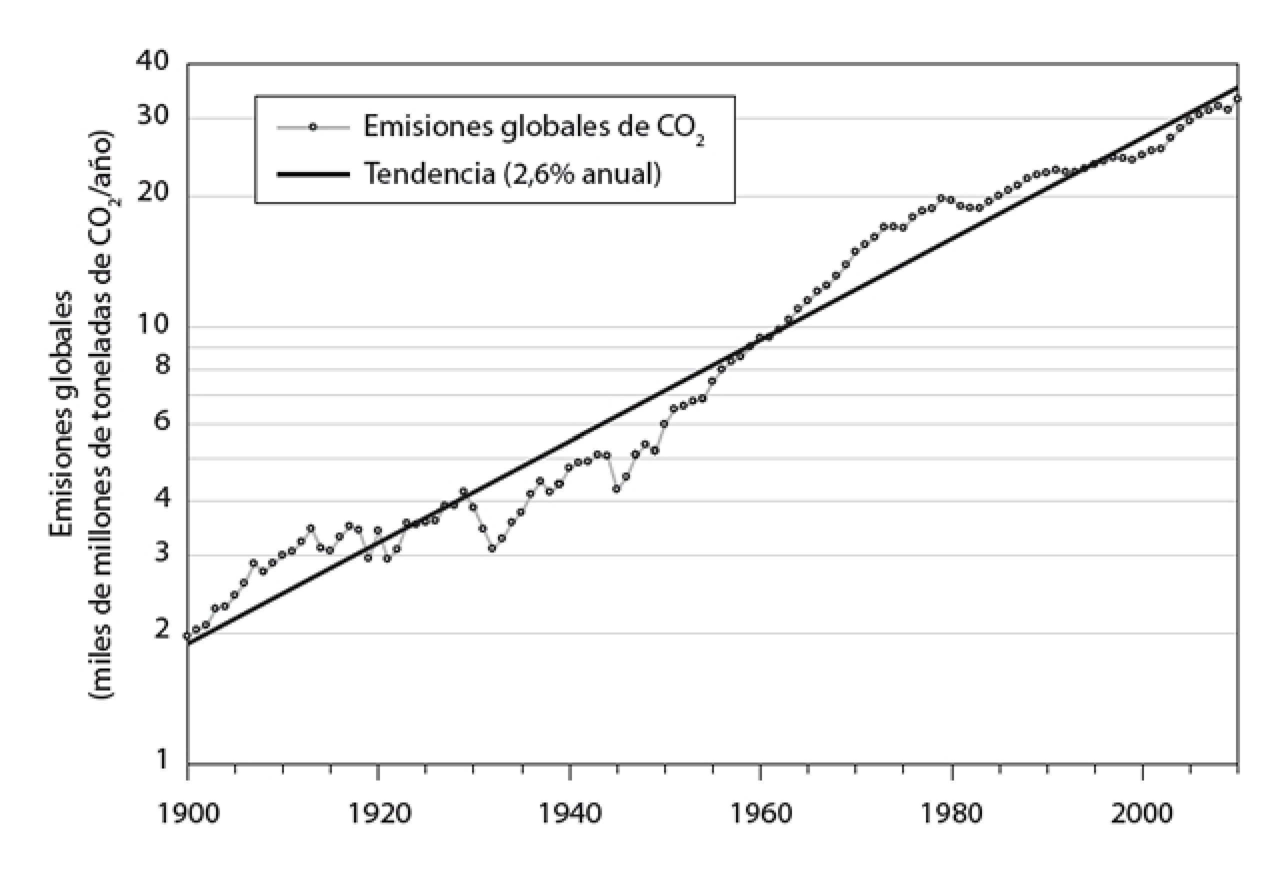
Tomemos de nuevo el caso de mi viaje a la Universidad de Connecticut, para el cual asumí como ejemplo de partida un trayecto al uso con mi automóvil de gasolina. Podría decidir comprar un coche eléctrico en su lugar. De esta forma no emitiría CO_2 a lo largo del recorrido, pero poner a funcionar mi coche requeriría el recurso al gas natural, lo que sí generaría emisiones de dióxido de carbono. Algo similar pasa, por ejemplo, en mi cocina. Mi horno quema gas natural. Convertirlo en un horno solar

requeriría una inversión notable, pero ni siquiera esto me garantizaría el suministro a lo largo de todo el día, puesto que el sol no sale siempre y nunca brilla de noche.

Así que, por ahora, como la mayoría de los estadounidenses, estoy «enganchado» a los combustibles fósiles. De hecho, no puedo negar que disfruto con mi estilo de vida actual. Me gusta mi coche, me gusta mi ordenador, me gusta mi teléfono móvil. Prefiero una casa cálida en invierno y una casa fresca en verano. Tengo claro que no quiero volver a un nivel de vida digno del hombre de las cavernas.

El efecto neto de que miles de millones de personas actúen de forma similar en todo el mundo viene reflejado en la figura 2, un gráfico que estudia el período que va de 1900 a 2010 y que muestra la tendencia en el largo plazo de las emisiones de CO_2.[7] Hemos conocido períodos de crecimiento reducido y otros de aumento moderado en este indicador, pero la línea arroja un crecimiento medio anual del 2,6 por ciento. Esa continua escalada es la que motiva las preocupaciones sobre el cambio climático. A más emisiones, más concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, de modo que el calentamiento global va a más.

FIGURA 2 **Emisiones globales de CO_2, 1900-2010**

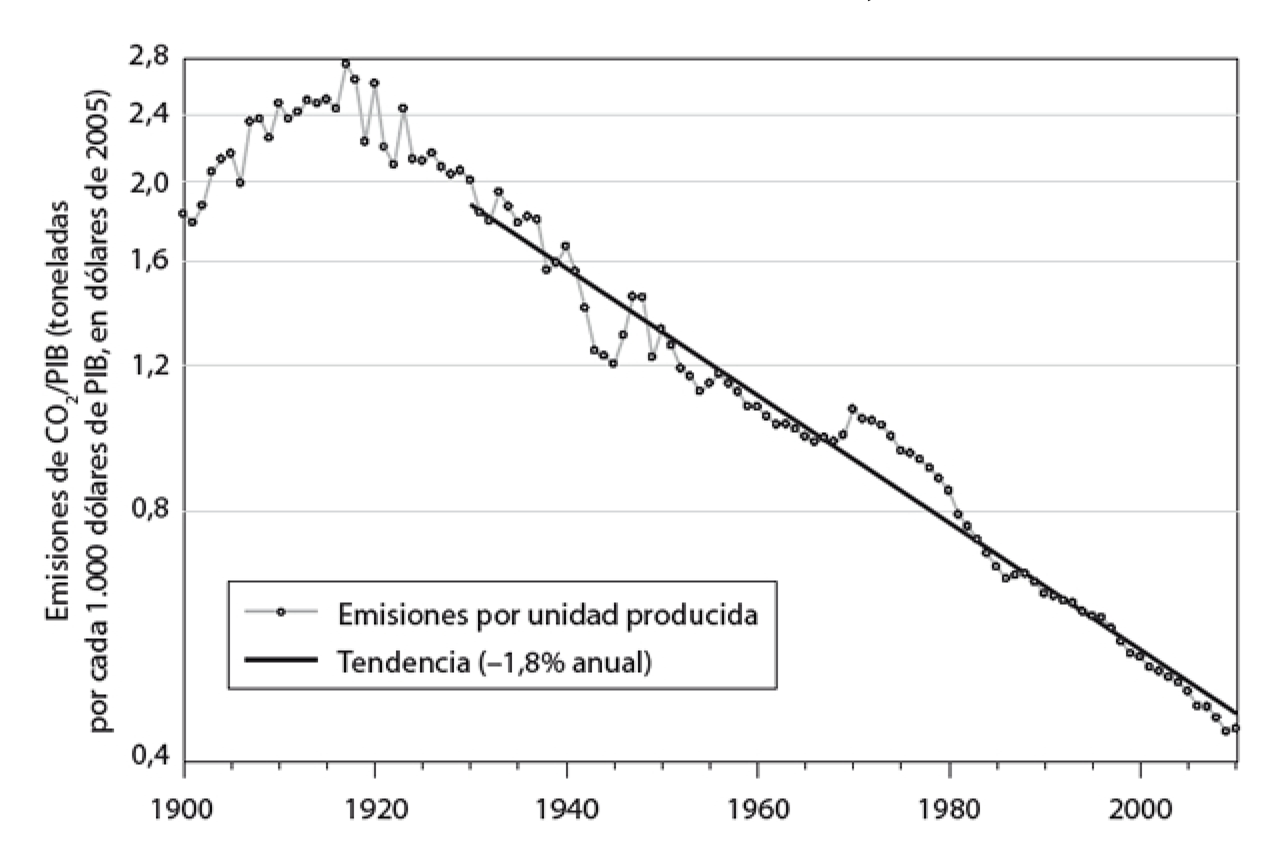


Si se me permite un comentario un tanto puntilloso sobre este asunto, quisiera precisar que la escala vertical del gráfico es una escala de ratios, de modo que las distancias verticales se muestran con la misma proporción. Por tanto, de 200 a 400 vemos la misma separación que de 400 a 800. Esto es conveniente porque una línea recta arroja una tasa constante de crecimiento o aumento. Lo vemos en la figura 3, en la que cualquier aumento porcentual parece tener el mismo alcance, sin importancia de su lugar en el gráfico.

Llegados a este punto, podemos ofrecer datos globales que nos ayuden a entender mejor el problema. Las emisiones de CO_2 han aumentado porque el PIB global ha crecido. La población en 1900 era de 2.000 millones de personas, mientras que en 2012 se rebasó el umbral de los 7.000 millones de habitantes. En la gran mayoría de países, la producción de bienes y servicios (producto interior bruto o PIB) se ha incrementado también en términos per cápita. Afortunadamente, las emisiones de CO_2 no crecen al mismo ritmo que la economía global. Llamamos a esto descarbonización.

Esto implica que, a lo largo del tiempo, empleamos menos energía para obtener la misma producción. Lo vemos en la figura 3, que ofrece datos para Estados Unidos y compara las emisiones de CO_2 con la senda del PIB.

FIGURA 3 **Intensidad del carbono en la economía estadounidense, 1900-2010**



Las razones que explican la descarbonización son muchas, pero hay tres factores esenciales. En primer lugar, para fabricar la mayoría de productos se requiere mucha menos energía. Da igual de qué producto hablemos: ocurre lo mismo con una camiseta, un cartón de leche, una llamada telefónica... En segundo lugar, vemos que los sectores económicos que crecen con mayor impulso (caso de la electrónica o la sanidad) emplean menos energía que las ramas de actividad que crecen menos o directamente reducen su tamaño con el paso de los años. Esto implica que el mix económico gira de industrias más intensivas desde el punto de vista energético a actividades que consumen menos recursos para su funcionamiento ordinario. En tercer lugar, las fuentes de energía también se han alterado: pasan de combustibles más intensivos en carbono (por

ejemplo, la quema de carbón) a otros menos intensivos (por ejemplo, el gas natural) y finalmente a fuentes renovables (por ejemplo, la energía eólica) o combustibles no fósiles (por ejemplo, la energía nuclear).

La figura 3 ilustra la disminución de la intensidad de carbono de la actividad económica en Estados Unidos, apoyándose en una serie de datos razonablemente buena y larga. El resultado es un gráfico fascinante, en el que vemos que la intensidad del carbono de la economía de Estados Unidos aumentó hasta alrededor de 1910 (la primera era del carbón) y empezó a reducirse a partir de 1930 (alcanzando una reducción, en promedio anual, del 1,8 por ciento para todo el período).

Si bien la intensidad de la producción de carbono está bajando, no está reduciéndose lo suficientemente rápido como para reducir las emisiones totales de CO_2, ni en clave doméstica ni menos aún a nivel mundial. En el período que estudia la figura 3, la producción real en Estados Unidos ha crecido a una tasa promedio del 3,4 por ciento anual, mientras que la intensidad del carbono ha bajado un 1,8 por ciento anual, de modo que las emisiones totales han subido un 1,6 por ciento cada ejercicio.

Si bien no se dispone de datos de suficiente calidad para todas las economías del mundo, las mejores estimaciones disponibles apuntan a que, en los últimos cincuenta años, la producción mundial creció a una tasa promedio del 3,7 por ciento anual, mientras que la descarbonización se movió en torno al 1,1 por ciento anual, dejando el aumento real de las emisiones de CO_2 en el 2,6 por ciento por ejercicio.

El problema con el CO_2 es éste. La mayoría de los países del mundo están creciendo rápidamente, con la salvedad de algunos que arrojan una evolución deficiente. Las recesiones están ahí, pero aunque son reveses dolorosos, su alcance es sólo temporal. Pero ese crecimiento sostenido consume recursos basados en carbono, como el carbón y el petróleo. Son los combustibles principales empleados para consolidar el crecimiento económico. Y, aunque la eficiencia del uso de la energía ha mejorado con el tiempo, la tasa de mejora es insuficiente para reducir la curva de emisiones. Por lo tanto, las emisiones totales de CO_2 siguen aumentando.

Los modelos como herramienta para entender el cambio climático

Demos un paso atrás para conocer mejor el terreno en el que nos vamos a mover. Hemos visto que, debido al crecimiento económico y al aumento en el uso de combustibles fósiles, los humanos estamos introduciendo cantidades cada vez mayores de CO_2 en la atmósfera. El crecimiento de las concentraciones de CO_2 se confirma mediante un análisis científico desarrollado en todo el mundo. Pero necesitamos saber las consecuencias del aumento de las concentraciones de GEI en la atmósfera. Como no podemos calcular todas estas fórmulas complejas en nuestras cabezas, usamos modelos computacionales para proyectar qué resultados tiene el crecimiento económico (pasado y futuro) sobre las emisiones, el clima y, por lo tanto, los sistemas humanos y naturales.

¿Qué hacen, pues, los científicos naturales o los economistas que quieren hablar del cambio climático con la mirada puesta en el futuro? Pasan, necesariamente, por dos etapas. La primera, explicada en este capítulo, implica estimar las emisiones futuras de CO_2 y otros GEI relevantes. La segunda, de la que hablaremos en otros pasajes del libro, exige poner esas estimaciones de emisiones en relación con el clima y distintos modelos de impacto geofísico. De esta forma se proyecta el cambio previsto en la concentración de CO_2, las temperaturas globales y otras variables importantes. El capítulo 4 incide en estos asuntos.

El uso de modelos es un elemento relevante en las ciencias naturales y sociales modernas. Para tener una imagen certera del cambio climático y sus implicaciones futuras, necesitamos hacer proyecciones que estimen el rumbo de la economía, el uso de la energía, las emisiones de CO_2 y otras variables climáticas. De esta forma podemos anticipar el impacto en diversos sectores. Una «proyección» siempre es condicional: «Si X, entonces Y». Así, diremos que «si se produce un conjunto determinado de eventos de entrada, estimamos que ocurrirán una serie de eventos de salida». Los economistas hacen estas proyecciones de manera recurrente. Por ejemplo, leemos que «dadas las políticas fiscales y monetarias actuales, esperamos que el PIB real aumente un 2 por ciento el próximo año». De manera similar, los científicos y los economistas usan las proyecciones para

el cambio climático para anticipar mejor el futuro. Los principales *inputs* que se introducen en estas proyecciones incluyen, por ejemplo, la trayectoria de crecimiento del CO_2 y otras emisiones de GEI. Mediante estas aportaciones, la física, la química, la biología y la geografía pueden estimar los efectos sobre las temperaturas, las precipitaciones, los niveles del mar, las grandes capas de hielo y muchas otras variables.

Debido a que los humanos no podemos calcular tales proyecciones mentalmente, se hacen mediante modelos computacionales. ¿Qué es un modelo? Hay distintos tipos: desde modelos de trenes hasta modelos arquitectónicos y modelos científicos. La idea básica de todos es que el modelo debe ser una imagen simplificada de una realidad más compleja. Los economistas representan en ellos el complejo mundo de las relaciones de producción, recogiendo también fenómenos como la inflación y aspectos como el comportamiento de los mercados financieros. El resultado son «modelos macroeconómicos» que son matemáticos y se procesan mediante equipos informáticos, cuyos potentes motores ayudan a que los gobiernos y las empresas puedan planificar sus decisiones futuras (por ejemplo, los Presupuestos Generales del Estado).

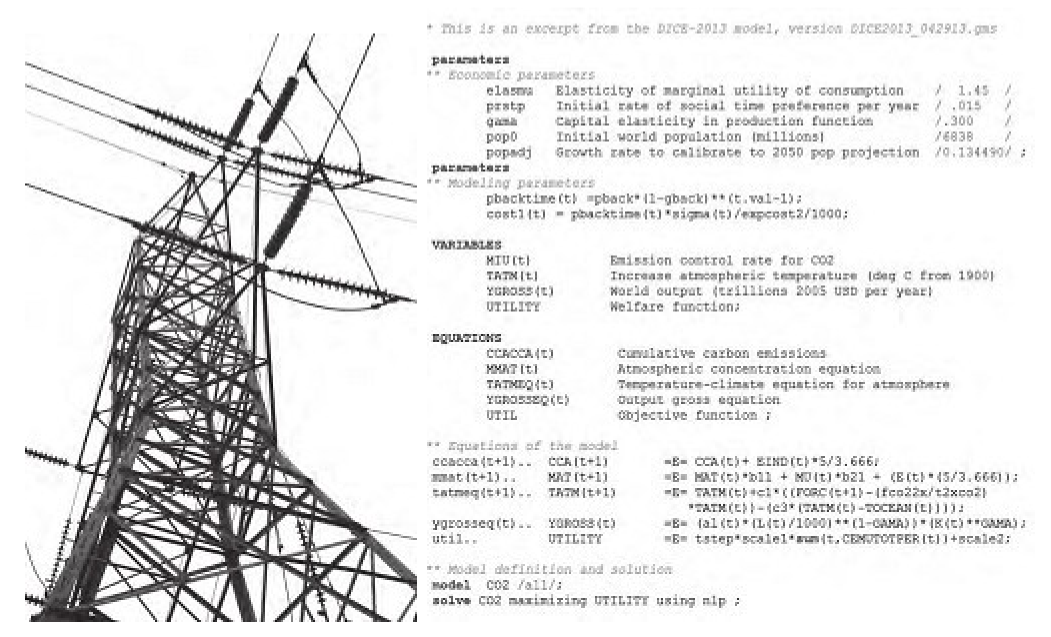
De manera similar, los modelos climáticos utilizan ecuaciones algebraicas o numéricas para representar la evolución dinámica de la atmósfera, los océanos, el hielo y otros sistemas relacionados.[8] Por tanto, pensaremos en los modelos climáticos como representaciones matemáticas de la Tierra, que cubren las distintas capas atmosféricas y oceánicas a través de cálculos que pueden tomar minutos o incluso horas. Se trata de modelos largos, que despliegan miles de líneas de código informático y que se desarrollan mediante el trabajo en equipo de decenas de científicos, a veces incluso repartidos por distintos países. Si el lector quiere profundizar, existen numerosos libros o referencias web que explican cómo se desarrollan los modelos.[9]

Podríamos dudar sobre la cuestión de la simplificación, pero realmente el propósito de los modelos es ése: simplificar, pero nunca demasiado. La realidad es enormemente compleja, de modo que necesitamos cierta capacidad de síntesis para entenderla. Si tomamos como ejemplo la economía de Estados Unidos, vemos que su comprensión requiere una

aproximación a las decisiones diarias que toman 300 millones de personas. No hay forma de representar ese sistema con precisión literal, de modo que la modelización económica (o climática) sólo aspira a simplificar la evolución de las variables esenciales para así poder entender mejor el campo analizado en cuestión. Necesitamos los detalles relevantes, no todos y cada uno de los detalles...

La figura 4 ilustra la diferencia entre un modelo simplificado y una realidad completa. En primer lugar vemos un cable de transmisión de alto voltaje que mueve la electricidad desde las plantas generadoras hasta los puntos de suministro disponibles en los hogares de los clientes conectados a la red. Ésa es la «realidad». En segundo lugar vemos el código informático de lenguaje GAMS que recoge el sistema energético y económico en cuestión. Más adelante nos referiremos al modelo DICE. El modelo es una representación conceptual de las complejas interacciones del sector eléctrico con el conjunto del sistema energético. Un arquitecto preferirá trabajar en la primera imagen, mientras que un experto en cambio climático se centrará en entender el programa reflejado en la segunda. Pero un buen modelo, sea de una economía, una torre de alta tensión o el clima de la Tierra, aspira siempre a lo mismo. Su objetivo último es capturar la esencia del proceso sin abrumar al usuario con desórdenes innecesarios.

FIGURA 4 **Comparación entre un modelo simplificado, una torre de transmisión eléctrica, y un modelo computacional y económico**



Nota: Cada uno cumple una función útil, pero el segundo es una herramienta crucial para estudiar tendencias y determinar el impacto de una u otra decisión política.

En economía construimos modelos de producción e ingresos para ayudar al gobierno a pronosticar sus ingresos y gastos o proporcionar una base de información que permita tomar decisiones sobre cuestiones como el endeudamiento público. Un buen modelo fiscal no necesita recoger el CO_2 porque, ahora mismo, su cálculo no forma parte de los presupuestos. Tampoco se hace preciso hablar del déficit público en los modelos de cambio climático, porque su influencia en el calentamiento global es de segundo o incluso tercer orden.

Construir buenos modelos es un arte y también una ciencia. Es una ciencia, porque requiere de observaciones precisas y teorías científicas confiables. Podríamos construir un modelo basándonos en la idea de que la Tierra y toda la vida fueron creadas hace 10.000 años, pero eso no nos ayudaría a explicar la historia de Long Island, puesto que buena parte de su territorio son escombros generados en la Edad del Hielo, que tuvo lugar con más antelación aún. De hecho, la referencia de los 10.000 años sería casi totalmente inútil para conocer y estudiar los núcleos de hielo de la Antártida, puesto que dichas formaciones contienen capas de más de medio millón de años de antigüedad.

Pero el trabajo de modelización también es un arte porque hay que saber simplificar para captar los detalles esenciales. Algunos modelos contienen información sobre todas las centrales eléctricas y todos los enlaces de transmisión de Estados Unidos. Pero incluso las empresas más grandes del país norteamericano no pueden representar la generación de energía en otros países, como tampoco pueden modelizar el comercio internacional de electricidad, el ciclo del carbono... Como diría Leonardo da Vinci, «no hay mayor sofisticación que la simplicidad». No en vano, las grandes fórmulas de la física son sorprendentemente sencillas.

La idea central del cambio climático también es relativamente sorprendente en su simplicidad. En esencia, «sólo» implica que la temperatura promedio de la Tierra se altera con la concentración relativa de CO_2 en la atmósfera. Se espera que se duplique este último indicador, lo que conducirá a un repunte del primero equivalente a 3 grados centígrados. Lo mismo sucedería con una segunda duplicación. Pero hasta ahí llegan los paralelismos con la ley de la gravedad porque, más allá de estos aumentos, desconocemos el aumento exacto de la temperatura derivado de aumentos superiores a una segunda duplicación de la concentración de CO_2. Por otro lado, el efecto de estos procesos puede depender también de otros factores, sobre todo en lo tocante a la escala de tiempo en la que se da este aumento.

Al igual que los mapas están diseñados para diferentes usos (por ejemplo, senderismo versus navegación, conducción versus vuelo...), los modelos también están diseñados para diferentes propósitos. Muchos modelos climáticos son extremadamente detallados y requieren que los superordenadores que los gestionan calculen las trayectorias de los componentes que rastrean. Otros modelos son más simplificados. Se centran en proyecciones de resultados específicos, como los impactos en la producción agrícola, el nivel del mar o la propagación geográfica de los mosquitos portadores de la malaria. Diferentes problemas, diferentes modelos.

Modelos de evaluación integrada

Un enfoque importante para el análisis del cambio climático es el que nos dan los modelos de evaluación integrada, también denominados IAM. Estos modelos integrales no sólo incluyen el clima sino que cubren igualmente otros aspectos de la ciencia y la economía del cambio climático. Los IAM combinan en un mismo paquete distintos procesos, desde el crecimiento económico o las emisiones contaminantes hasta el impacto climático que se deriva del calentamiento global. Esto permite estimar también el efecto de políticas diseñadas para frenar el deterioro medioambiental.

Los IAM también contienen modelos climáticos simplificados. Al igual que el código informático incluido en la figura 4, su objetivo es capturar el vínculo entre las emisiones y el cambio climático, pero sin incluir todos y cada uno de los detalles. La principal ventaja de los IAM es que pueden representar todo un proceso de principio a fin. El principal inconveniente es que simplifican procesos que se analizan con mayor detalle en modelos más completos.

Buena parte de los IAM han sido desarrollados por equipos de modelización de todo el mundo que han demostrado ser útiles para comprender las implicaciones de las políticas para frenar el cambio climático. A lo largo de este libro, recurro ampliamente a este tipo de herramienta para describir mejor los aspectos económicos del cambio climático.

Por otro lado, me refiero también a los resultados de modelos que yo mismo he contribuido a desarrollar, de la mano de colegas y estudiantes de la Universidad de Yale. Se trata de los modelos DICE, abreviatura de *Dynamic Integrated model of Climate and the Economy* (‘modelo Dinámico Integrado del Clima y la Economía’). Existe una versión más elaborada aún, a la que llamamos RICE por abordar aspectos regionales de economía y cambio climático.[10]

El modelo DICE sigue una estructura lógica similar al flujo circular de la figura 1. Empieza con el estudio de los efectos del crecimiento económico en materia de emisiones contaminantes. A continuación, se simulan las tendencias en el ciclo del carbono y el clima de la tierra. De esta forma se pueden hacer cálculos de daños, siempre ajustando dichas evaluaciones al tamaño de la economía o la evolución de las temperaturas.

Por último, se aplica un análisis referido a posibles políticas preventivas. El objetivo es que se pueda comprobar qué ocurre con las emisiones si se introducen ciertas políticas de mejora del medio ambiente.

En la versión global más simple el modelo incluye sólo algunas ecuaciones y es relativamente fácil de entender. El RICE, por su parte, es más completo, puesto que detalla los resultados para doce regiones del mundo, como Estados Unidos, China o India. Contiene miles de líneas de código informático y, por lo general, es más difícil de explicar y comprender. El DICE permite cambiar los parámetros y las suposiciones (por ejemplo, indicando distintos ritmos de aumento de la población), de manera que se pueden plantear diferentes supuestos que ayudan a determinar cuáles pueden ser las consecuencias futuras.

Proyecciones: principios básicos

La comprensión del cambio climático comienza con las proyecciones que hacemos mediante los modelos climáticos. Entre sus variables de referencia están principalmente las líneas que siguen las emisiones de CO_2 y los demás GEI. Para que el análisis sea asequible y manejable, me enfocaré en el CO_2, que no deja de ser el más importante de los gases de efecto invernadero, pero es importante que el lector sepa que las evaluaciones completas consideran también esos otros GEI. Por otro lado, a la hora de realizar proyecciones, empleo el CO_2-e, que suma las contribuciones del CO_2 y los demás GEI y los expresa como el efecto de una cantidad equivalente de CO_2.

¿Cómo hacen proyecciones los expertos en estadística y economía? De entrada, se emplean datos históricos, leyes físicas subyacentes o relaciones económicas, lo que permite estimar las relaciones estadísticas entre distintas variables. A partir de estos resultados, un demógrafo o un economista pueden hacer una proyección estadística de las tendencias futuras. La ventaja del enfoque estadístico es que puede reproducirse y actualizarse. Debido a que todo el proceso se puede replicar con datos disponibles en abierto, otros expertos pueden verificar o cuestionar las estimaciones.

Como mencioné anteriormente, las emisiones totales de CO_2 están impulsadas por tres componentes: la población, el PIB per cápita y la intensidad de carbono en el PIB. Matemáticamente, la tasa de crecimiento de CO_2 es igual a la suma de las tasas de crecimiento de cada uno de los tres componentes. Los datos para 2010 y las proyecciones para 2050 se muestran para Estados Unidos y para el mundo en la tabla 1.[11] Estas proyecciones para 2050 parten de que no se toman medidas para controlar las emisiones contaminantes. Las estimaciones se han realizado con el modelo DICE de Yale, pero apenas difieren de las conclusiones que arrojan otros estudios.

Fijémonos primero en los resultados para Estados Unidos. Se espera que su población crezca un 0,6 por ciento cada año, mientras que la producción por habitante subirá a un ritmo del 1,7 por ciento y la relación entre el PIB y el CO_2 emitido será decreciente en un 1,6 por ciento. Sobre esta base, las emisiones de CO_2 crecerían al 0,7 por ciento anual, incrementando las emisiones en un 30 por ciento a mediados del presente siglo.

TABLA 1 **Proyecciones de la evolución de las emisiones de CO_2 para Estados Unidos y el mundo en un contexto no controlado**

	2010	**2050**	**Crecimiento (% anual)**
Estados Unidos			
PIB/población ($ 2.005/persona)	42.300	83.700	1,7
CO_2/PIB (toneladas/millón de $)	432	226	–1,6
Población (millones de personas)	309	399	0,6
Emisiones totales de CO_2 (millones de toneladas)	**5.640**	**7.550**	**0,7**
Global			
PIB/población ($ 2.005/persona)	9.780	22.400	2,1
CO_2/PIB (toneladas/millón de $)	522	278	–1,6
Población (millones de personas)	6.410	9.170	0,9
Emisiones totales de CO_2 (millones de toneladas)	**34.900**	**57.600**	**1,3**

Se pueden hacer cálculos similares para otras regiones. La mayoría de los modelos así lo contempla. Para hacerlo, es preciso considerar otras realidades energéticas, otras estructuras de capital y de infraestructuras, etc. Pero, al final, la idea esencial es la misma: reflejar hacia dónde vamos en términos económicos, energéticos y medioambientales.

Así, en la tabla 1 vemos que las proyecciones para todo el mundo son distintas. Sin medidas de contención de las emisiones, éstas subirán un 1,3 por ciento anual durante las próximas décadas. Se espera que los países en desarrollo crezcan más rápidamente que Estados Unidos, como también se anticipa una mayor tasa de aumento de la población en dichas naciones. En términos de CO_2/PIB, el saldo sería el mismo que en el país norteamericano, con una tasa del –1,6 por ciento.

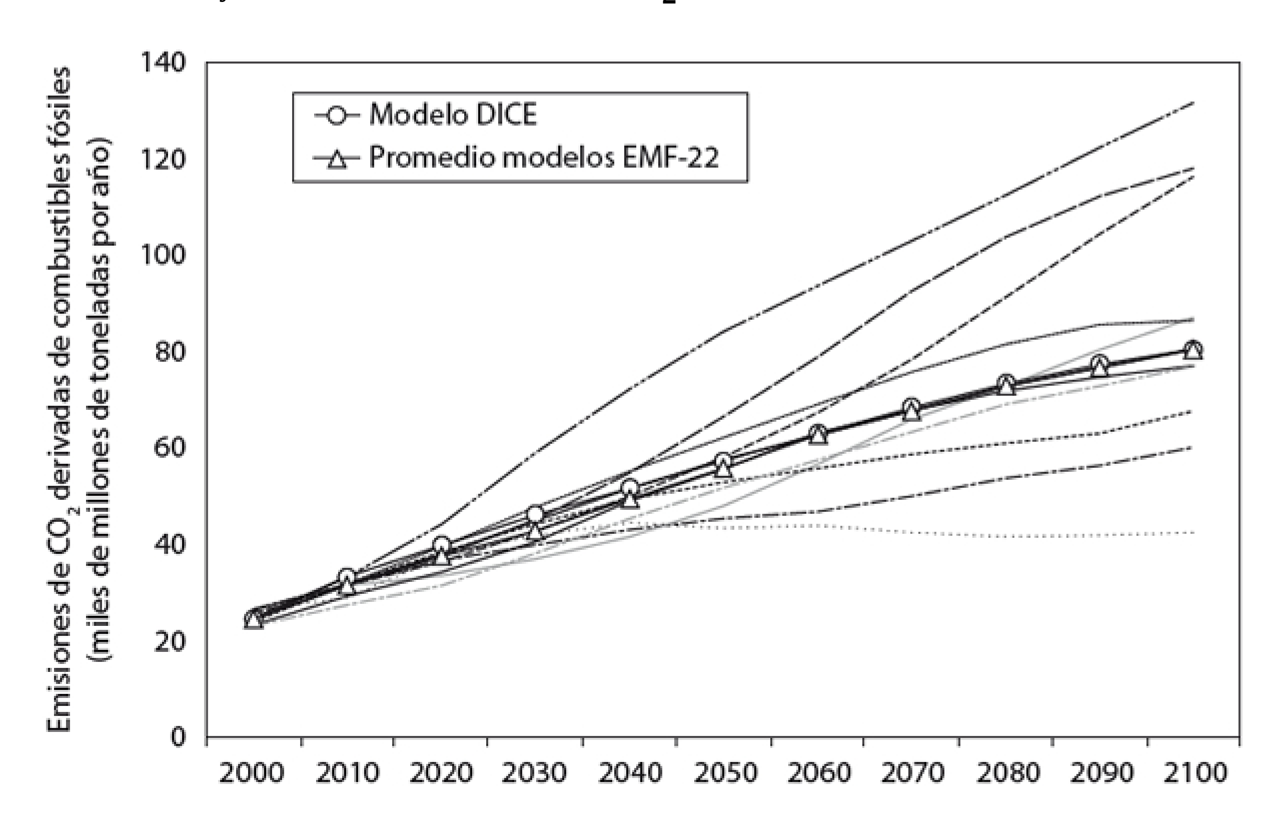
Por tanto, la tabla 1 sugiere que hay tres maneras de reducir las emisiones: menor crecimiento de la población, menor crecimiento en los estándares de vida y menor intensidad de CO_2 (descarbonización). La gente suele creer que las tasas de crecimiento del CO_2 son leyes sólidas, que no responden a los cambios en la economía. Incluso hay creencias tan pesimistas que parten de que sólo se puede evitar el colapso con límites severos en nuestro nivel de vida o políticas draconianas de control de la población.

Esa mirada pesimista entraña una lectura incorrecta de la historia y la realidad política. Las sociedades pueden reducir la curva de crecimiento del CO_2 mediante una descarbonización más rápida. Si se hace de forma inteligente, el coste de tal avance puede ser relativamente modesto. Hay muchas tecnologías que pueden producir bienes y servicios menos contaminantes, incluso de cero emisiones. Por ejemplo, la electricidad se puede generar con combustibles bajos en carbono (como el gas natural) o con combustibles que no requieren carbono (caso de la nuclear, la solar o la eólica). Podemos desarrollar electrodomésticos y coches más eficientes. Podemos aislar mejor del frío nuestras residencias. Incluso se puede eliminar CO_2 de la atmósfera. Por tanto, en vez de centrarnos en imponer

límites dolorosos que reduzcan el crecimiento humano y económico, debemos hacer hincapié en consolidar el giro hacia tecnologías bajas en carbono.

La tabla 1 plantea cuál es el escenario de partida en términos de crecimiento económico y demográfico y emisiones de CO_2. ¿Qué muestran otros modelos IAM? Para ampliar la perspectiva, he colaborado con el Foro de Modelización Energética de la Universidad de Stanford, cuyos expertos han desarrollado el proyecto EMF-22.[12] Dicha iniciativa incorpora distintos sistemas de modelización desarrollados en todo el mundo, con seis grupos de trabajo radicados en Asia y Australia, ocho en Europa occidental, cinco en América del Norte. El promedio de sus estudios viene reflejado en la figura 5, que también incorpora los hallazgos del modelo DICE al que me refiero de forma recurrente en este libro. Como se puede ver dando un mero vistazo al gráfico, el resultado de los modelos EMF-22 es muy similar al del modelo DICE.

FIGURA 5 **Proyecciones base de emisiones de CO_2**



El rumbo del CO_2 y el «casino del clima»

La figura 5 pone de manifiesto lo que se está jugando en el «casino del clima». Todos los modelos proyectan un crecimiento continuo de las emisiones de CO_2. Las tasas de crecimiento para el siglo XXI (2000-2100) van del 0,5 al 1,7 por ciento anual. Estas tasas pueden resultar modestas, pero se deben interpretar en términos acumulativos, puesto que el paso de los años produce un efecto de composición. Por ejemplo, crecer al 1,2 por ciento cada año implica un aumento final del 3,3 por ciento a lo largo de un siglo.

Estos modelos son el fruto de un trabajo de décadas por parte de expertos en economía y energía. Todos ellos indican que el problema del CO_2 no va a desaparecer ni va a resolverse de forma mágica en virtud de alguna fuerza no regulada del mercado. Hace falta más.

En cuanto a la incertidumbre sobre las emisiones futuras, hay que tener en cuenta que las proyecciones señalan que la importancia de los cambios tecnológicos y productivos no es tan importante a corto plazo, pero sí va a más conforme ampliamos el período de estudio. Lo vemos en la figura 5, que incluye en sus extremos dos tipos de proyecciones muy distintas. Y es que las emisiones de CO_2 en el año 2100 podrían ser 1,6 veces mayores que en el año 2000 si se cumplen los augurios menos preocupantes, pero podrían ser 5,4 veces mayores si se dan las condiciones más temidas. La divergencia se remonta a los determinantes del crecimiento de las emisiones, de modo que encierran diferentes estimaciones acerca del crecimiento económico, la tecnología, los cambios en el consumo de energía...

Un análisis cuidadoso encuentra que la mayor incógnita a la hora de hacer proyecciones a largo plazo tiene que ver con el crecimiento de la economía mundial. ¿Veremos una expansión sólida, como entre los años 1950 y 2005? ¿O la mezcla del cambio tecnológico y la inestabilidad financiera dará pie a crisis, depresiones e incluso conflictos violentos? Esas sombras están ahí y afectan al cálculo de las emisiones futuras.

La respuesta a estas preguntas no es sencilla. Cuando entramos en un casino, no podemos predecir cómo va a girar la ruleta. Si invertimos en bolsa, nunca podemos estar seguros del rumbo que seguirán las acciones. Y si estudiamos la economía del futuro con un enfoque a cien años, evidentemente no podemos estar seguros de lo que va a suceder. Recordemos, de hecho, que la crisis financiera que estalló entre 2007 y 2008 no estaba prevista por muchos modelos de análisis macroeconómico. De modo que, como vemos en los extremos de la figura 5, puede llegar a haber grandes diferencias.[13]

Naturalmente, el lector se preguntará qué implica todo esto para impulsar políticas efectivas de cambio climático. ¿Acaso no estamos hablando de cosas que van a tardar 100 años en materializarse? Esta duda podría invitarnos a posponer cualquier medida, desde la base de que la vida siempre acarrea incertidumbre y desde el convencimiento de que hay que tomar decisiones drásticas con más información certera sobre lo que está por venir. En los casinos pasa lo mismo: hasta que la ruleta deja de girar, podemos hacer todo tipo de apuestas.

Pero la cuestión climática es distinta. Es peligroso esperar a que tengamos una certidumbre total sobre todas estas cuestiones. Es como conducir de noche, a 100 kilómetros por hora y sin luces con la esperanza de que no haya curvas... La cruda realidad es que no podremos acabar a corto plazo con muchas dudas que aún están ahí a la hora de hablar del calentamiento global. Pero la respuesta tardía será mucho más costosa y las posibilidades de adaptación serán también mucho más pequeñas. Es mucho menos costoso asumir costes y realizar inversiones a lo largo de un espacio prolongado de tiempo que acumular ese esfuerzo en un corto plazo marcado por la ansiedad que puede generar el advenimiento de un desastre medioambiental.

La investigación sobre cómo podemos lidiar con estas incertidumbres debe abordarse con enfoque económico. Hay que calibrar los costes y el impacto de las posibles medidas orientadas a solucionar el problema del calentamiento global. Y hay que tener en cuenta que puede haber escenarios de baja probabilidad pero elevado daño. Por ello, hay que tomar medidas para blindarnos ante dichas hipótesis.

Sería un tremendo error pensar que los problemas van a desaparecer por arte de magia y sin requerir ningún tipo de acción por nuestra parte. Simple y llanamente, esto no va a ocurrir. Tenemos que actuar.

4

El cambio climático del futuro

El primer paso para comprender los retos del cambio climático es tener una base científica sólida referida a esta cuestión. Si nuestras referencias parten solamente de periódicos generalistas o debates televisivos, podríamos pensar que estamos ante un ámbito sobre el que apenas empezamos a conocer detalles en la actualidad. La realidad es muy distinta. El origen de la ciencia sobre el cambio climático inducido por la acumulación de CO_2 se remonta, por lo menos, a un siglo atrás. Es, de hecho, uno de los campos de investigación más fecundos y, considerando la profundidad de los trabajos referidos a la materia, también se puede decir que es una de las áreas más desafiantes de la ciencia moderna.

En este libro enfatizo en los aspectos sociales del cambio climático, es decir, cuestiones como las raíces económicas del fenómeno, sus costes y sus daños, las políticas que pueden frenar su avance, el impacto global de todo el fenómeno, las negociaciones y ajustes necesarios para lograr mejoras... Quienes busquen un tratamiento más detallado de la dimensión científica pueden acceder a una infinidad de trabajos especializados en dicha cuestión.[14] Pero, antes de entrar de lleno en los aspectos sociales del cambio climático, es cierto que debemos bajar al terreno y estudiar las bases científicas del cambio climático.

La ciencia del cambio climático

En primer lugar, clarifiquemos la terminología que emplea este libro. ¿A qué nos referimos exactamente cuando hablamos de cambio climático? La siguiente definición nos sirve como aproximación a la materia:

«Por lo general, hablar de “clima” implica referirse a la media estadística y a la variabilidad histórica observada en las temperaturas, la humedad, los vientos, la nubosidad, las precipitaciones y otros factores. El período estudiado puede abarcar apenas unos meses o puede llegar a cubrir miles de años. Si planteamos la existencia de un “cambio climático”, nos referimos a una alteración de estas propiedades estadísticas a lo largo de un determinado lapso de tiempo».

No podemos confundir el «clima» con el «tiempo». El clima es el marco general que podemos anticipar para una región y una determinada etapa del año. Por ejemplo, en Estados Unidos sabemos que el invierno es sinónimo de temperaturas más frías. Eso sí, el tiempo recoge la forma precisa en que se plasma el clima. Por ejemplo, si tiene lugar una tormenta en los meses de invierno.

En este libro empleo «cambio climático» y «calentamiento global» como sinónimos. Podría hacer diferenciaciones y precisiones, pero esto nos desviaría del asunto central y alargaría innecesariamente el texto. De entre ambos términos, prefiero el de «cambio climático», puesto que los problemas que están encima de la mesa no sólo se refieren al calentamiento, sino que también abarcan otras cuestiones como el aumento del nivel del mar, las sequías, el aumento de la intensidad de las tormentas, etc. Pero incluso el término elegido no recoge otras dimensiones que también están ahí, como por ejemplo la carbonización de los océanos. Es por eso por lo que hay quienes hablan de «cambio global», término que no termina de despegar por la falta de concreción. En cualquier caso, espero que el lector entienda que mis reflexiones parten de que estamos hablando de una compleja combinación de factores que se derivan de la acumulación atmosférica de CO_2 y otros GEI.

Por otro lado, aunque en Estados Unidos se suelen expresar las temperaturas en la escala de Fahrenheit, este trabajo suele ofrecer datos en grados centígrados, al ser dicha escala la más recurrente y estandarizada en el campo científico. Como referencia, cabe recordar que 10 grados centígrados son 50 grados Fahrenheit.

De las emisiones a la concentración

En el capítulo 3 analizo las emisiones de CO_2 observadas en el pasado y esperadas para el futuro. Si estas emisiones desapareciesen de la noche a la mañana o se transformasen en algo inocuo, probablemente este libro no se habría escrito y este debate no sería relevante.

Pero las emisiones no son lo que preocupa principalmente a los científicos. En realidad, su foco está puesto en la concentración atmosférica de CO_2 y otros GEI. Por tanto, el problema real radica en el hecho de que las emisiones se acumulan y, a lo largo del tiempo, motivan cambios en el clima.

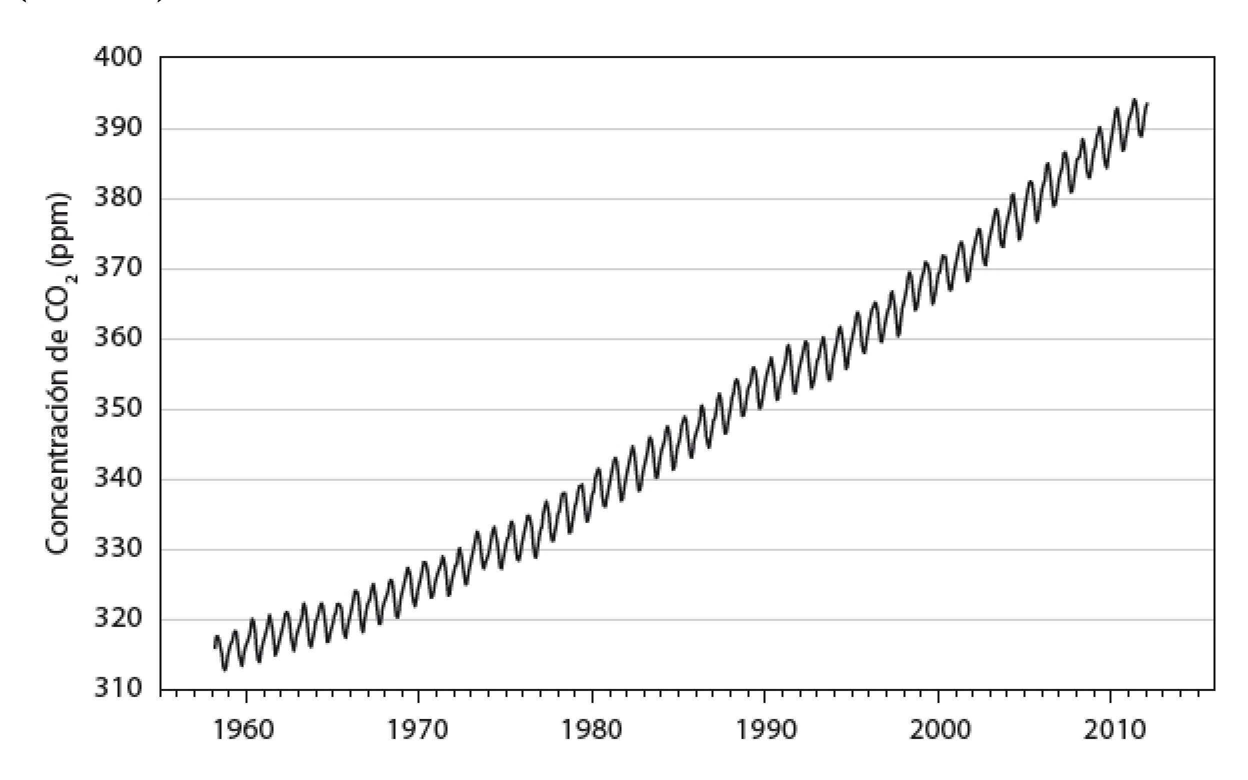
El proceso mediante el cual las emisiones de CO_2 se distribuyen a lo largo y ancho del planeta es lo que algunos expertos describen como el «ciclo del carbono». Muchos científicos especializados en la materia estudian cómo el carbono se mueve en el espacio y el tiempo. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) ha realizado estudios que apuntan que entre el 50 y el 60 por ciento del carbono emitido durante el siglo XXI seguirá en la atmósfera en el año 2100.[15] El grado de permanencia varía según los informes, dependiendo de los modelos y de la tendencia de crecimiento planteada en lo tocante a las emisiones.

Hagámonos una pregunta sencilla: ¿puede ser posible que la acción humana sea suficiente como para alterar el clima de todo el planeta? Al fin y al cabo, las personas somos apenas una pequeña parte de la vida en la Tierra. De manera que, para entender correctamente la situación, vale la pena preguntarse qué explica la creciente concentración atmosférica de CO_2.

Entre los científicos no hay duda de que la concentración atmosférica de dióxido de carbono va en aumento. Gracias a investigaciones y trabajos que empezaron en 1958, en la isla de Hawái, hoy tenemos datos que cubren más de medio siglo de historia climática. En la figura 6 se puede ver el resultado de los informes del Observatorio de Mauna Loa que cubren desde mediados del siglo XX hasta el año 2012. Durante el período analizado la concentración atmosférica de CO_2 subió un 25 por ciento.[16]

¿Se puede ligar la concentración de CO_2 a la actividad del hombre? ¿Acaso no puede explicarse por algún tipo de variabilidad natural? El estudio de los datos históricos y la modelización de la evolución esperada para las próximas décadas invitan a pensar que, en efecto, el aumento en la concentración de CO_2 en la atmósfera se explica por la actividad humana.

FIGURA 6 **Concentración atmosférica de CO_2 según el Observatorio de Mauna Loa, Hawái (1958-2012)**



Para poner en perspectiva el cambio que se está registrando, fijémonos en las grandes masas de hielo de nuestro planeta. Durante el último millón de años, la concentración de CO_2 en dichos entornos ha oscilado entre 190 y 280 ppm. Sin embargo, en la actualidad se registran niveles mucho mayores, de hasta 390 ppm. Por tanto, la situación actual está muy lejos de cualquier antecedente histórico.

Antes subrayé que más de la mitad de las emisiones de CO_2 producidas en el presente seguirán en la atmósfera al final de este siglo. ¿Qué pasa con el resto del dióxido de carbono que está saliendo a la atmósfera? Una parte puede ir a la biosfera, absorbido por los árboles, el suelo, las plantas... Y

otra parte muy importante del CO_2 que no termina en la atmósfera, según los científicos, acaba en los océanos, donde su difusión es lenta y progresiva.

Para entender esto último, cualquiera de nosotros puede realizar un sencillo experimento. Primero, llenamos un vaso con agua. Después, soltamos algunas gotas de colorante alimentario rojo en la superficie acuosa. A continuación, nos fijamos en el tiempo que tarda en descender y difundirse el colorante. ¿Lo tenemos? Pues ahora tenemos que imaginar eso mismo, pero con un «vaso» con la profundidad de un océano. Quizá de esa forma podemos entender un poco mejor lo complejo y largo que es el proceso mediante el cual el CO_2 termina siendo absorbido por los océanos.

Retomando el hilo, decíamos que las investigaciones científicas concluyen que una parte importante del CO_2 que sale a la atmósfera sigue ahí un siglo después. Esto tiene implicaciones significativas para nuestro análisis del cambio climático, porque implica que las acciones de hoy pueden tener un impacto notable en el futuro. Al contrario de lo que ocurre en otros ámbitos de la vida, las consecuencias no se manifiestan pasadas horas, días o meses, sino que podemos hablar de períodos que abarcan muchos años, incluso más de un siglo. Por eso, las emisiones de CO_2 y otros GEI deben ser entendidas con la mirada de largo plazo que también adoptamos para hablar de cuestiones como los residuos nucleares. No es, pues, una forma de polución al uso. El largo tiempo de permanencia del CO_2 en la atmósfera implica un enfoque de gran alcance.[17]

Cómo la concentración de CO_2 cambia el clima

Una vez se obtienen las proyecciones sobre la evolución futura de la concentración de CO_2 y otros GEI, los científicos dedicados al estudio del clima introducen estas estimaciones en sus modelos estimativos. Como hemos explicado antes, hablamos de representaciones matemáticas que reproducen los patrones históricos observados en la circulación de la atmósfera o los océanos. Estos modelos parten de leyes fundamentales de la física o detalles cruciales de la geografía terrestre. Todo esto se traduce a

lenguaje informático, pero para entenderlo mejor debemos pensar en los modelos como una especie de ecuación que recoge las dinámicas de la atmósfera y los océanos. Para entender los modelos climáticos, eso sí, es preciso conocer la ciencia que sirve de base para su desarrollo.

El calor que sentimos cuando nos exponemos al sol es lo que llamamos «radiación». Todos la percibimos cuando miramos fijamente al sol o exponemos nuestra piel a su luz y calor. La radiación llega mediante oleadas de frecuencia variable. El grueso de la energía que proviene del sol es tan visible como la luz. Es caliente y sus oleadas son cortas. La atmósfera y la superficie de la tierra absorben esa energía, lo que a su vez calienta a la Tierra y motiva nuevas emisiones de radiación que compensan las recibidas y generan un equilibrio. Eso sí, como la Tierra es más caliente que fría, la radiación que devuelve tiene una frecuencia más larga que la registrada en la energía recibida del sol.

Aquí es donde todo este asunto se pone interesante. Algunos gases atmosféricos, como el CO_2 o el metano, pero también el vapor de agua, absorben más la radiación que emana de la Tierra que la radiación que llega a la misma. Este proceso es algo así como dormir con una manta en una fría noche de invierno: nos ayuda a mantener la temperatura corporal y permite que podamos dormir calientes. Por eso se habla de la atmósfera como un «invernadero» natural, puesto que el agua o el CO_2 «atrapan» calor y ayudan a que nuestro planeta sea un lugar razonablemente cálido. Como la radiación queda retenida en el entorno de la Tierra, la temperatura de equilibrio del planeta tiende a subir. Es el «efecto invernadero» que se produce de manera natural. Los científicos estiman que esto eleva la temperatura de la tierra 33 grados centígrados más de lo que sucedería si no existiese la atmósfera. ¿Qué significa eso? Que sin todo el proceso que hemos descrito, la vida en la Tierra se desarrollaría a una temperatura media de –19 grados centígrados, un entorno gélido en comparación con el promedio actual, de 14 grados centígrados. Gracias a que conocemos ese efecto, también podemos estimar cuál es la temperatura de la luna, puesto que allí no se reproducen los mismos sistemas generadores de un clima más cálido.

Ese «efecto invernadero» se ve acelerado cuando consideramos también el efecto de la acción humana, con sus emisiones de GEI. Ahora mismo, el stock de GEI que ha recogido nuestra atmósfera no es capaz de absorber toda la radiación saliente, que como dijimos tiene una mayor frecuencia. Conforme las emisiones de CO_2 y otros GEI van a más, una fracción creciente de esa radiación termina enquistándose en la atmósfera y empujando al alza el equilibrio de las temperaturas terrestres. Ese proceso, inducido principalmente por la mayor concentración de CO_2, hace que el planeta sea cada vez más caliente, por eso nos referimos al fenómeno como un proceso de calentamiento global. Como referencia, si la concentración atmosférica pasa de 280 a 560 ppm, entonces esas emisiones generan un aumento de la temperatura media de la Tierra equivalente a 3 grados centígrados. Ese aumento va siendo menor conforme se duplica la concentración de CO_2 en la atmósfera. Sí, subir de 280 a 560 ppm genera un calentamiento adicional de 3 grados centígrados, pero pasar de 560 a 1.120 ppm supone un aumento menor, de aproximadamente 1,8 grados centígrados.

Es evidente que no podemos afirmar con claridad cuál será el ritmo futuro del calentamiento inducido por la acumulación de CO_2. La previsión puede ser más fiable en un plazo corto o medio, pero resulta complicada si hablamos de décadas e incluso del próximo siglo. Sin embargo, en el ámbito científico hay pocas dudas sobre el hecho de que los seres humanos estamos generando cambios geofísicos que rompen con todo lo conocido en los últimos milenios. Los científicos que estudian esta cuestión han detectado esta preocupante tendencia en diversos campos. Ya hemos dicho que las emisiones y la concentración atmosférica de CO_2 y otros GEI están subiendo. También que la temperatura de la superficie terrestre va a más. Todo esto genera incertidumbre y miedo por las consecuencias negativas que pueden generar dichos fenómenos. Pero hay más razones para tener cuidado. Los océanos cada vez están más calientes, los glaciares y las capas de hielo se están derritiendo, los polos tienen un clima cada vez menos frío, a nivel estratosférico se observan también procesos de enfriamiento, el océano Ártico arroja una continua reducción en sus formaciones de hielo...

[18] El denominador común en todas estas circunstancias es que hablamos de un calentamiento provocado por GEI y no por variaciones naturales en el clima.

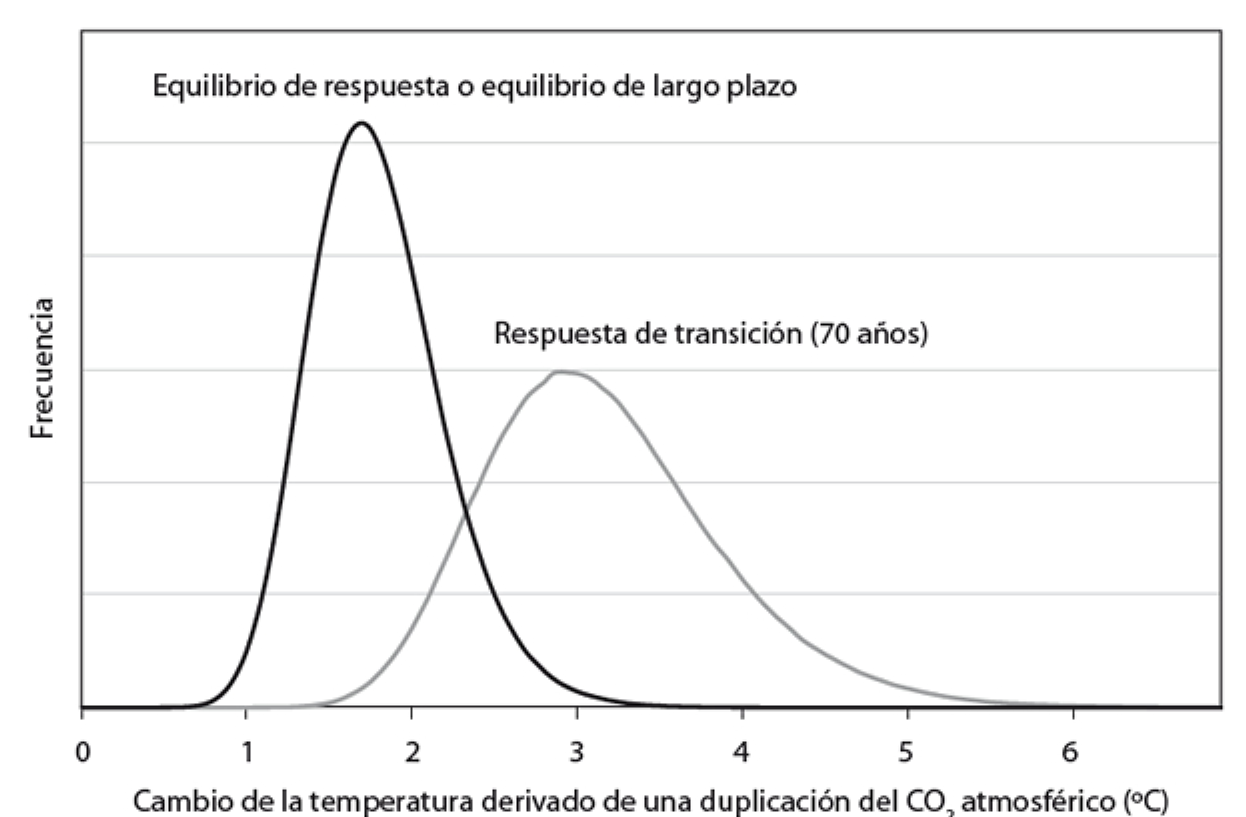
Para entender mejor el calentamiento que provoca el CO_2, imaginemos dos supuestos. En el primero, estamos sentados en un coche negro en pleno verano. En el segundo, hacemos lo mismo, pero en un automóvil blanco. Si el coche es blanco el impacto de la luz del sol se verá reflejado y la temperatura en el interior del vehículo se mantendrá más moderada que en el supuesto del coche negro, que absorberá más luz solar y, por tanto, verá elevada su temperatura. Añadir CO_2 a la atmósfera es como tener un ejército invisible de pintores que, noche tras noche, van oscureciendo el color de nuestro automóvil. Es posible que haya quienes favorezcan ese tipo de «ataque», por ejemplo quienes residan en áreas frías, pero también quienes salgan perjudicados, por ejemplo los residentes en la India o mis compatriotas de Arizona, puesto que estas personas sí residen en zonas calientes y saldrán perjudicadas si circular en su vehículo es cada vez más incómodo.[19]

Proyecciones de cambio climático en el futuro

Hasta ahora hemos comentado algunos aspectos básicos de la ciencia que investiga el cambio climático. Desde un punto de vista práctico, lo que nos importa es conocer la magnitud y el calendario del fenómeno, así como sus efectos concretos (por ejemplo, qué supone para las precipitaciones o qué implica para el nivel del mar). De entrada, fijémonos en lo que puede derivarse del hecho de que la concentración atmosférica de CO_2 se pueda duplicar en los años que vienen. Desde hace más de un siglo, los científicos del clima estudian esta hipótesis, de modo que hablamos de un cálculo recurrente e incluso estandarizado. No obstante, no se trata de un asunto zanjado, puesto que la ciencia es compleja y nuestro entendimiento de lo que puede llegar a ocurrir no es total y absoluto.

En la figura 7 vemos un esbozo que refleja hallazgos de modelos climáticos completados recientemente.[20] Aunque estos modelos siempre están siendo revisados y mejorados, lo cierto es que una cuestión que apenas genera debate es la sensibilidad del clima ante los aumentos de CO_2. En las tres últimas décadas, esta relación ha sido estimada siempre de forma similar a la actual.[21] Como en toda comparación de modelos, la figura 7 recoge el resultado de plantear distintos modelos climáticos y distintos escenarios de futuro. Primero se proyectan escenarios que no incluyen un aumento en la concentración atmosférica de CO_2. Después se hace lo contrario, planteando un aumento paulatino de la concentración de GEI en la atmósfera, equivalente a duplicar su cantidad en un rango de unos setenta años. Se trata de dos supuestos artificiales, pero que nos permiten entender mejor el tipo de situaciones que podemos ver en el futuro. Estos modelos hacen, además, dos cálculos relevantes. Por un lado, se plantea la respuesta de transición, es decir, el aumento de la temperatura tras un lapso de setenta años durante el que se duplica la concentración de CO_2. Lo vemos en la curva de la izquierda, que arroja un aumento de 1,8 grados centígrados. Por otro, se plantea el equilibrio de respuesta o equilibrio de largo plazo, que refleja el aumento a largo plazo de la temperatura. Lo vemos en la curva de la derecha, que ronda los 3 grados centígrados.

FIGURA 7 **Respuesta de la temperatura a los dieciocho modelos climáticos incluidos en el *IV Informe de Evaluación* del IPCC**



Nota: Ambas curvas muestran la distribución de la temperatura, tanto en lo tocante a la respuesta de transición (línea de trazo grueso, a la izquierda) como en lo relacionado con el equilibrio de respuesta o equilibrio de largo plazo (línea de trazo fino, a la derecha).

En buena parte de los modelos que integran cuestiones climáticas y económicas vemos que en 2050 la concentración de CO_2-e (es decir, el equivalente en CO_2 de todos los GEI observados) duplicará los niveles de la época preindustrial. Por tanto, la línea de trazo grueso de la figura 7 reflejaría lo esperado para mediados del siglo XXI. Pero si nos fijamos sólo en los modelos económicos, en su caso vemos que las conclusiones tienen más que ver con la línea de trazo fino de la figura. En ese caso, la subida de la temperatura esperada para 2050 rondaría el umbral ya mencionado de 1,8 grados centígrados.

¿Y qué ocurre si comparamos las estimaciones de futuro con las mediciones que analizan el pasado? Lo que nos dicen los estudiosos en la materia es que las temperaturas globales han subido 0,8 grados centígrados en el último siglo. Por tanto, siguiendo este patrón, la temperatura subiría otro grado más en las cuatro próximas décadas, aunque es justo señalar que

este tipo de análisis genera más desacuerdo entre los científicos, de modo que hay quienes anticipan un crecimiento mayor y también hay voces que apuntan a un aumento menor.

Volvamos a la figura 7, que muestra un período de transición (dentro de unos setenta años) y un equilibrio de respuesta o de largo plazo (período más amplio). Mientras que el primer escenario se mueve en torno a 1,8 grados centígrados, el segundo se acerca a los 3 grados. El paso de la transición al equilibrio es lento y puede demorarse siglos.[22] Esa lentitud en la constatación del calentamiento se explica por lo lento que es el proceso de calentamiento de los océanos más profundos. Esta inercia contribuye a dificultar los cálculos a largo plazo. Al igual que ocurre con el consumo de cigarrillos, sabemos que no es bueno fumar pero también sabemos que los efectos no tienen por qué ser evidentes a corto plazo. Pero esta lentitud de la que hablamos tiene su lado positivo: si la concentración de CO_2 se revierte rápidamente, entonces el freno del calentamiento global será más efectivo, porque la temperatura podrá bajar gracias a que los océanos más profundos aún no habrán experimentado una subida notable en su calor.

Quienes no son expertos en estas cuestiones suelen preguntarse por qué no es posible resolver estas incertidumbres. No es algo ligado únicamente a la ciencia climática. En mi rama de especialización se suele bromear diciendo que, si preguntas por un mismo tema a cinco economistas, obtendrás seis respuestas distintas... Por otro lado, también hay que reconocer que los modelos climáticos están lejos de ser homogéneos y arrojan respuestas distintas a lo largo del tiempo.

Pero hay razones válidas que explican estas discrepancias. El «efecto invernadero» más básico que se describió en páginas anteriores es algo más o menos aceptado, de modo que las dudas no pasan tanto por esta cuestión. Lo que sí genera diferentes resultados es todo lo relacionado con la magnitud del aumento de las temperaturas. Al fin y al cabo, si el fenómeno es más profundo o acelerado, las conclusiones son distintas que si el proceso es más suave y lento. Si una temperatura más cálida termina derritiendo el hielo y la nieve, entonces veremos que ganarán peso relativo superficies como la terrestre o la oceánica. El resultado, por volver al ejemplo del coche, será un automóvil más oscuro. Esto hará que se absorba

más luz solar y que, como resultado de una mayor temperatura en la superficie de la Tierra, se amplifique el efecto invernadero. A esto se le llama también «efecto albedo».

El factor amplificador más relevante en todos estos procesos es la evaporación de agua que motiva el aumento de las temperaturas. Esto supone más vapor de agua en la atmósfera. Hay que recordar que el vapor de agua es un GEI de notable importancia. Pero también tenemos que fijarnos en las nubes, puesto que de ellas también se deriva parte de la incertidumbre sobre el clima del futuro. Las nubes son un dolor de cabeza para quienes estudian estas cuestiones, puesto que se pueden enfriar o calentar dependiendo de distintos factores. Así, las nubes pueden enfriar el planeta si reflejan la luz del sol de vuelta al espacio, pero también pueden calentarlo si atrapan parte de la radiación que emana de la superficie terrestre. Es difícil modelizar la formación de nubes y muchas de las diferencias en las proyecciones de futuro se explican por esta cuestión.

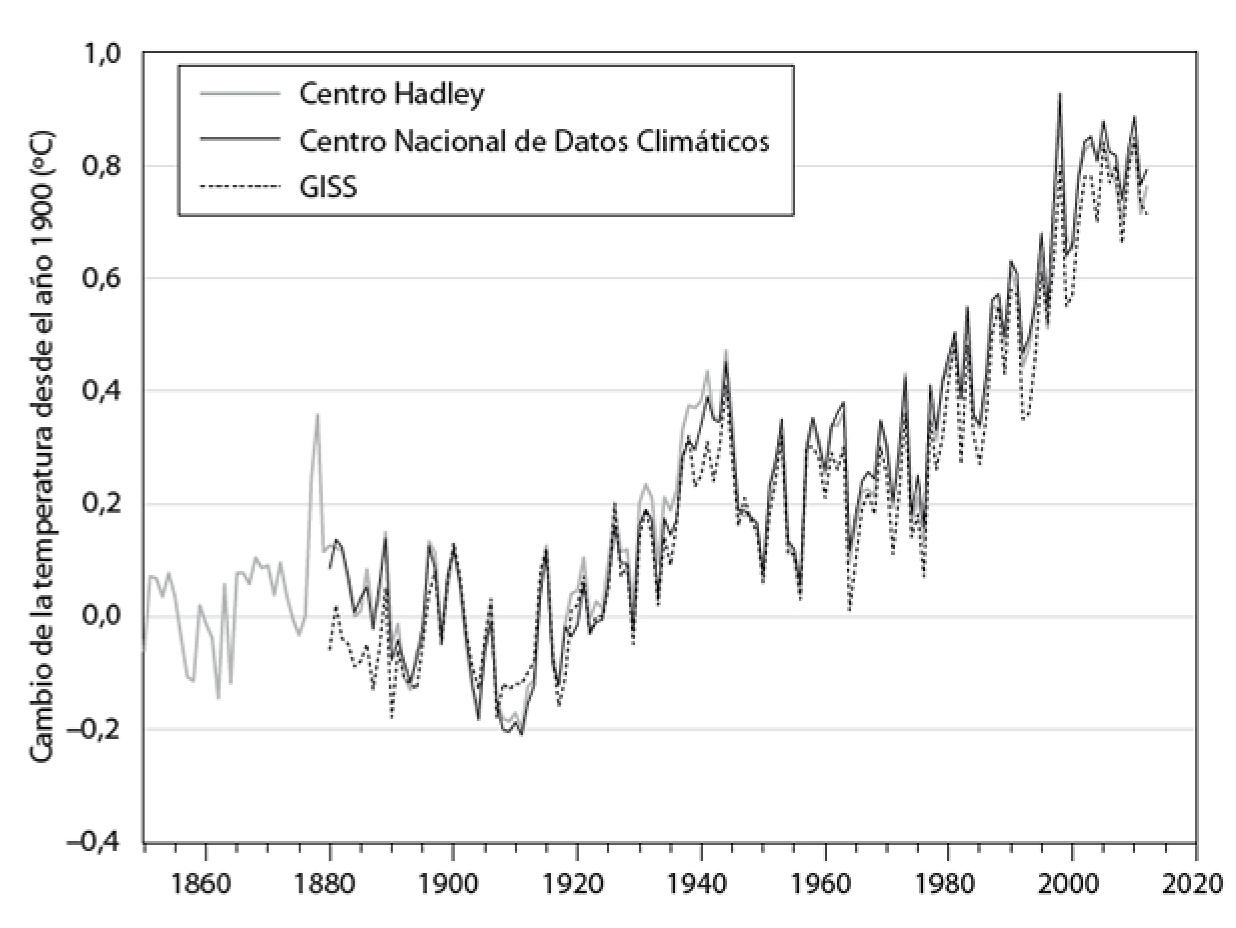
Los expertos en el clima estiman que, si no hubiese un efecto de retroalimentación, el calentamiento global derivado de la duplicación de la concentración atmosférica de CO_2 sería relativamente pequeño (alrededor de 1,2 grados centígrados). Pero hay amplificadores muy importantes que hacen que todo el proceso tenga un impacto más difuso y complejo. Por eso se alcanzan los niveles que vemos reflejados en la figura 7.

Proyecciones de temperatura para el próximo siglo

Ya sabemos cuáles son los pilares sobre los que descansan las proyecciones de futuro respecto al cambio climático. Hemos visto cómo los especialistas en energía proceden a estimar las emisiones futuras de CO_2 y cómo dichas emisiones sirven después de base para estudiar la evolución esperada en la concentración atmosférica de los GEI. También hemos visto cómo los modelos climáticos tienen en cuenta estas cuestiones y procuran incorporar parámetros como la temperatura, las precipitaciones o los niveles del mar, gracias a los cuales se pueden establecer proyecciones para varias décadas.

El siguiente paso implica integrar estos dos pilares y desarrollar proyecciones más concretas sobre el rumbo del cambio climático. Para estas estimaciones se deben tener en cuenta distintos supuestos. En el primero, el escenario de partida, no se toman medidas contra el calentamiento global. Se trata, por tanto, de estudiar qué ocurriría en ausencia de políticas orientadas a frenar las emisiones de CO_2 y otros GEI. Aunque esto no sería muy sensato por parte de nuestros gobernantes, plantear lo que puede generar la inacción política nos sirve como referencia para estimar lo que puede ocurrir si seguimos tirando los dados y jugando al «casino del clima».

FIGURA 8 **Temperatura global estimada por tres grupos de investigadores, 1850-2012**

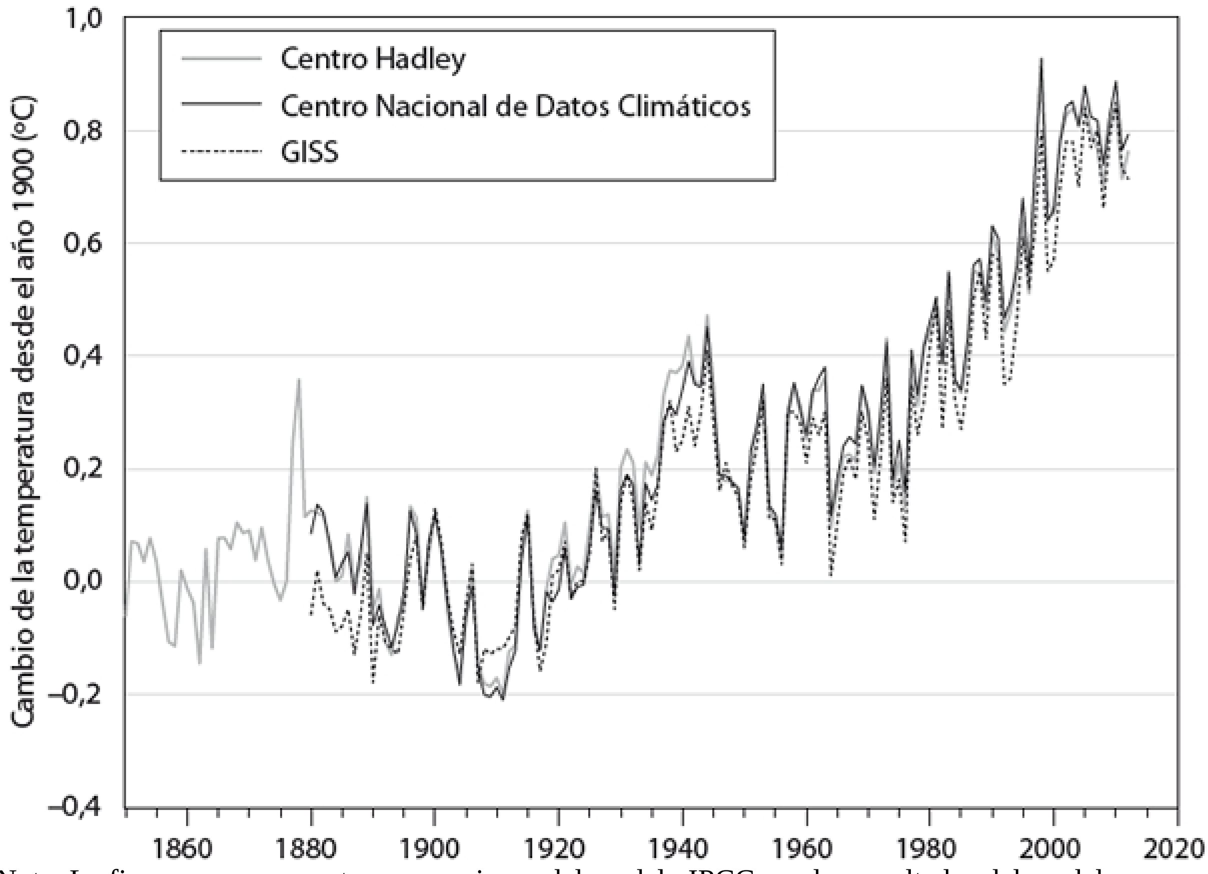


Para establecer ese primer escenario de análisis que sirve como punto de partida empezamos por la temperatura. Los registros históricos que han captado los termómetros desde el siglo XIX han sido recogidos en la figura

8.[23] La tendencia es claramente alcista, aunque los movimientos de año en año son algo erráticos y a veces se antojan un tanto difíciles de explicar (como ocurre con la bolsa).

Ahora pasemos a las proyecciones sobre el futuro del clima. Una fuente de dichas estimaciones es la que ofrece la serie IPCCSRES. Se trata de escenarios que proceden del IPCC, en concreto de un informe (el documento SRES) que plantea distintos escenarios de emisiones y que ha sido empleado de forma generalizada por científicos especializados en esta rama. Aunque los cálculos contenidos en la serie IPCC-SRES se van alterando con el tiempo, las proyecciones no muestran grandes cambios. Puede que no hablemos de estimaciones total y absolutamente precisas, pero sí que estamos ante una herramienta útil para plantear el rumbo esperado para el futuro. Es lo mismo que ocurre con los túneles de viento que se emplean para probar los aviones: no son equivalentes a volar, pero ayudan a simular la respuesta del aparato. Otra fuente para las proyecciones sobre el futuro del clima son los modelos de análisis integrado (IAM), citados y comentados en el capítulo 3. Dichas estimaciones consideran aspectos como la población, la tecnología, el mix energético, el crecimiento económico..., pero también consideran el ciclo del carbono, los modelos climáticos... El resultado es el mejor trabajo posible de estimación de cambio climático para el futuro próximo. Para este cálculo, se toma como referencia la concentración media de CO_2 incluida en la figura 5 y tomada de los modelos EMF-22.[24] Para ofrecer también otra fuente, se emplean igualmente las proyecciones de temperatura que arrojan los modelos climáticos analizados por el IPCC. Lo vemos todo en la figura 9, que cubre una y otra fórmula de estimación.[25] La línea discontinua se refiere al promedio de los modelos EMF-22, mientras que la línea continua recoge el modelo RICE. Este gráfico ofrece un entendimiento útil para contemplar las distintas posibilidades que contemplan los estudiosos del cambio climático a la hora de mirar al futuro.

FIGURA 9 **Temperatura media del planeta a partir del IPCC y los IAM**



Nota: La figura compara cuatro proyecciones del modelo IPCC con los resultados del modelo regional DICE (RICE) y el promedio de los modelos económicos integrados EMF-22. Las letras A1B, B1 y B2 aluden a la estandarización de emisiones.

Fijémonos en los IAM. Aunque los modelos parten de distintos supuestos en ramas tan dispares como el crecimiento económico, la población, el sector energético, las nuevas tecnologías, el ciclo de carbono..., lo cierto es que la trayectoria estimada para las temperaturas es muy parecida. En 2100 los IAM proyectan un aumento medio de 3,5 grados centígrados con respecto al año 1900, tanto si nos fijamos en los resultados de los modelos EMF como si tomamos los DICE como referencia.

Algunos hallazgos relevantes

Como los modelos climáticos son muy detallados, sus resultados son fascinantemente complejos y extensos, pero eso ayuda a generar estudios más profundos sobre el impacto del calentamiento global. Por esa vía se han

alcanzado las siguientes conclusiones, tomadas de la última literatura académica disponible sobre la materia:

- La concentración actual de CO_2 está muy por encima de cualquier otro nivel registrado en los últimos 650.000 años.
- La temperatura global crecerá entre 1900 y 2100 entre 1,8 y 4 grados centígrados, dependiendo del escenario que tomemos como referencia.
- El rango de estimaciones sobre el aumento esperado en el nivel del mar apunta a 18-60 centímetros más durante el siglo XXI (depende del escenario contemplado, pero no incluye el efecto de posibles deshielos de gran alcance).
- Las temperaturas subirán mucho más en la tierra que en el mar y en el Ártico que en el resto del planeta. De hecho, desde mediados del siglo XXI el océano Ártico podría empezar a quedarse sin hielo en los meses de verano (aunque existen proyecciones que señalan que esto sucederá antes).
- Está previsto que aumente la intensidad de los huracanes.
- La mayor concentración de CO_2 en la atmósfera conducirá directamente a la acidificación de los océanos.
- Muchas regiones del mundo van a experimentar menos días fríos y más días calurosos. Lo que ocurrirá con los fenómenos climatológicos extremos está menos claro.
- Hay una gran incertidumbre sobre el efecto que pueden desempeñar pequeñas partículas como los aerosoles. A priori enfrían el clima, pero el alcance y la dimensión regional de dicho enfriamiento son difíciles de estimar.[26]

Los diferentes modelos conocidos ofrecen distintas respuestas sobre el aumento de las temperaturas o el impacto del cambio climático en las distintas regiones del mundo pero, incluso considerando estas discrepancias, hay un hallazgo común y troncal en todos ellos, puesto que todos los grupos de modelización proyectan grandes cambios en el clima en las décadas que están por venir. Estas conclusiones se sustentan en las

investigaciones científicas más sofisticadas y, por tanto, su mensaje general no puede quedar en segundo plano, más allá de que haya diferentes proyecciones en el seno de la disciplina.

Los modelos climáticos nos aportan muchas otras claves sobre lo que está ocurriendo con el planeta, especialmente en todo lo relacionado con el impacto concreto de estos cambios, pero estos detalles serán comentados en otros apartados del libro.

Jugar a la ruleta rusa

Las figuras 7 y 9 nos recuerdan que nuestro conocimiento sobre el clima es incompleto y limitado. Incluso en los mejores estudios sobre el calentamiento global vemos que hay dudas y discrepancias sobre la forma en que se sucederán los acontecimientos.

Estas sombras fueron comentadas de forma impactante por un grupo de científicos del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), que, en vez de publicar sus resultados, organizaron una conferencia de prensa en la que mostraron sus conclusiones con una «ruleta rusa». Según estos investigadores, en 2100 el calentamiento podría ser mucho mayor de lo que anticipaban otros trabajos. Hablaron, concretamente, de un aumento de 5,25 grados centígrados, claramente por encima del 3,5 recogido en la figura 9. Sus resultados chocan con las conclusiones de buena parte de los estudiosos, pero nos recuerdan que los científicos siguen lidiando con una notable incertidumbre a la hora de ponderar el cambio climático.[27]

En definitiva, tenemos que tener claro que, si no se toman medidas para frenar el calentamiento global, el grueso de las estimaciones apunta a que la temperatura observada en 2100 superará los niveles del año 1900 en 3,5 grados centígrados. Hay incertidumbre en torno a esta cifra, pero todos los modelos climáticos y económicos apuntan en la misma dirección y nos dicen que el ritmo del calentamiento global se va a acelerar en las próximas décadas, superando cualquier nivel observado en el pasado.

5

Puntos de inflexión en el cambio climático

Es lógico que algunas personas reaccionen con relativa tranquilidad ante estas proyecciones. ¿Acaso debe alarmarnos un cambio de temperatura de 2 o 3 grados centígrados? Al fin y al cabo, en una mañana cualquiera podemos experimentar oscilaciones aún mayores. De hecho, millones de personas emigran en busca de mejores condiciones climatológicas, a menudo en busca de lugares cálidos. Un estadounidense que se traslada de Minneapolis a Phoenix experimenta un aumento medio de las temperaturas de 13 grados centígrados.

Pero este enfoque ignora los verdaderos riesgos. El problema no es tanto un mero aumento en la temperatura media, sino el impacto físico, biológico y económico de ese calentamiento. De hecho, hay umbrales a partir de los cuales se desatan reacciones y fenómenos que quizá escapan a quien desconoce la ciencia climática. Por tanto, pensemos en ello de este modo: si nuestra temperatura corporal sube de 36 a 42 grados centígrados pasamos de una situación normal a correr verdadero peligro, por mucho que «sólo» sean 6 grados de diferencia.

La importancia de entender esos puntos de inflexión es vital. Imaginemos que estamos conduciendo sobre una calzada mojada. Si la temperatura del asfalto pasa de 1 a –1 grados centígrados, nuestro automóvil enfrentará un súbito deterioro del firme sobre el que circula, hasta el punto de que se pueden dar deslizamientos que provoquen un accidente. Y apenas hablamos de un vuelco de 2 grados...

Otro ejemplo práctico y quizá menos dramático es lo que sucede cada año con mis plantas de albahaca. Producen hojas que luego empleo para cocinar pasta pero, con la llegada del otoño, llega un momento en el que la

temperatura se sitúa por debajo de los niveles de congelación, de modo que la albahaca se vuelve negra y queda completamente arruinada.

Estos ejemplos sencillos, tomados de la vida cotidiana, nos aproximan a la idea de los puntos de inflexión que debemos entender para hablar con propiedad sobre cambio climático. Los científicos están preocupados porque entienden que hay umbrales críticos que los sistemas terrestres no deberían superar. En algunos casos, conocemos los procesos que se pueden desencadenar si las temperaturas rebasan ciertos límites. En otros casos, ni siquiera tenemos certidumbre sobre lo que puede pasar. Pero ahora que ya hemos entendido cómo funcionan los sistemas, debemos adentrarnos precisamente en estos campos tan complejos que, de hecho, abarcan algunos de los efectos potenciales más peligrosos y aterradores del cambio climático.

La variabilidad de los climas pasados

Uno de los grandes logros de las ciencias terrestres modernas es el desarrollo de técnicas que permiten estudiar la historia climática de nuestro planeta. Estas técnicas se desarrollan, por ejemplo, con muestras tomadas en árboles o placas de hielo. A partir de distintas variables, los científicos pueden construir estimaciones sobre los climas del pasado, refiriéndose por ejemplo al nivel que tenían los mares, la vegetación de tiempos pasados o los cambios en los gases atmosféricos.

La conclusión más relevante que podemos extraer de estas investigaciones es que los climas del pasado han cambiado mucho con el paso del tiempo. De hecho, están muy lejos de lo que hoy experimentamos. Los estudios muestran que la Tierra ha vivido períodos fríos y calientes. En ciertos momentos, las placas de hielo cubrieron la práctica totalidad del globo, mientras que en otras épocas apenas había hielo en nuestro planeta. Buena parte de estos cambios climáticos fueron causados por alteraciones en la órbita de la Tierra. Las razones que explican la sincronización en las fluctuaciones aún no están claras, pero sabemos que sucedieron. Pequeños

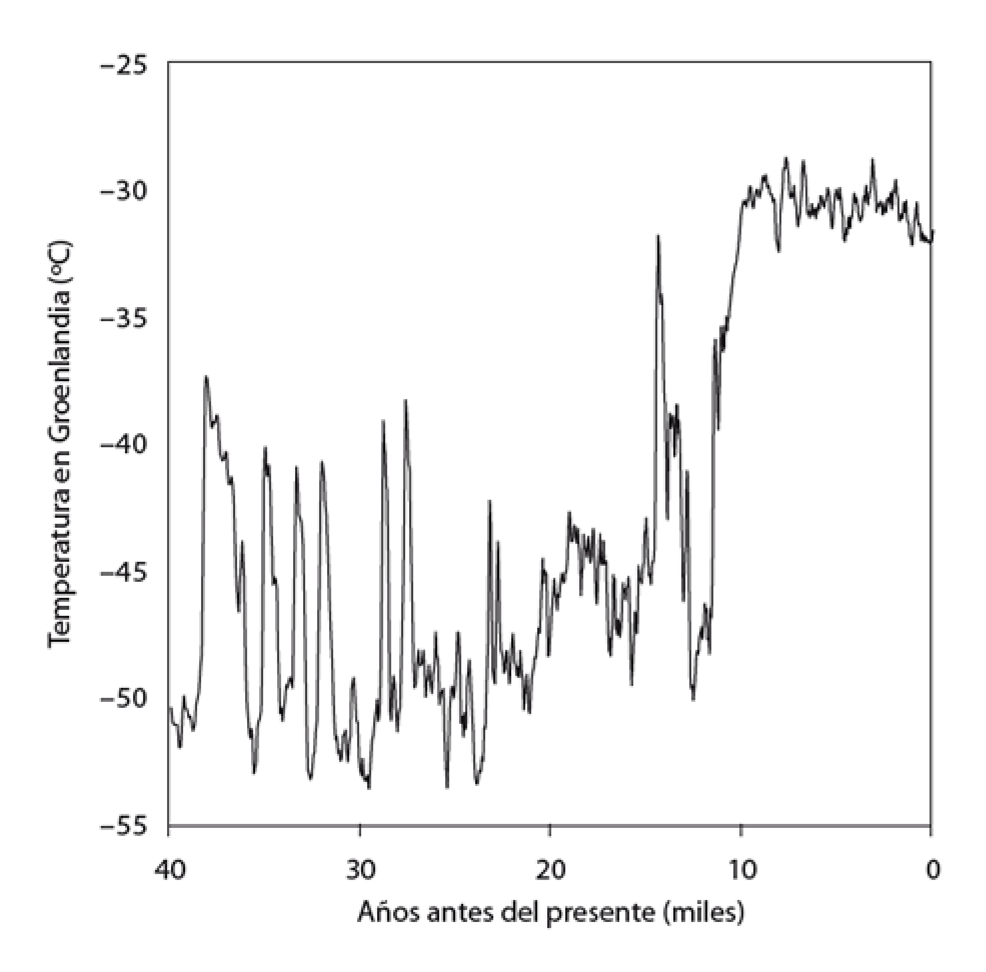
cambios en el balance energético de la Tierra pueden conducir a grandes cambios en la distribución del hielo, la vegetación, los animales o las condiciones de vida.

Un segundo hallazgo que resulta igualmente sorprendente es que nuestro planeta ha experimentado un clima inusualmente estable durante aproximadamente 7.000 años. Existen métodos diferentes que permiten determinar esto. Uno de los más recurrentes analiza las temperaturas basándose en muestras tomadas en núcleos de hielo de Groenlandia (ver figura 10). Esta reconstrucción utiliza como termómetro la cantidad observada de deuterio, un isótopo de hidrógeno.[28]

Echemos un vistazo a los últimos 7.000 años a través de la figura 10. En el eje horizontal vemos que el tiempo va de más atrás al presente. Resulta notable que la temperatura ha sido relativamente estable en todo el período estudiado. Por el contrario, si miramos lo ocurrido en los 33.000 años anteriores, la figura 10 constata violentas fluctuaciones que muestran el principio y el final de las distintas Edades del Hielo. Aunque esta muestra de Groenlandia es sólo una de las que podemos consultar, buena parte de las series de largo plazo coincide en señalar que los últimos 7.000 años han sido los más estables de un total de 100.000 años analizados por la ciencia.

Sin duda, estamos ante un hallazgo aleccionador, puesto que esa franja de 7.000 años coincide también con el período en el que han surgido civilizaciones humanas, con sus idiomas escritos, sus ciudades y sus distintas formas de vida. ¿Fue la estabilidad climática un requisito previo para el surgimiento de la agricultura y la vida en comunidades locales? ¿Habrían desarrollado los sumerios el primer lenguaje escrito si se hubiesen enfrentado a un sistema climático inestable? ¿Cómo se habrían desarrollado la filosofía y la literatura en Grecia si las ciudades-Estado se hubiesen sumergido repentinamente en una Edad del Hielo? No lo sabemos, pero muchos antropólogos creen que la estabilidad de los climas durante los últimos siete milenios fue un importante contribuyente para la evolución de las sociedades humanas tal como las conocemos hoy.

FIGURA 10 **Estimaciones históricas de la temperatura en Groenlandia**



Pero el futuro seguramente será diferente. El crecimiento demográfico y económico ha generado un aumento de las emisiones de CO_2 y GEI que plantea un reto directo al clima de la Tierra. Esto cambiará los ecosistemas, los flujos del agua, los usos de nuestras tierras... Podemos decir con casi total seguridad que, durante el próximo siglo, la acción humana empujará las temperaturas globales más allá de la escala superior que se muestra en la figura 10. Al hacerlo, probablemente alteraremos el sistema terrestre más allá de los límites biofísicos dentro de los cuales se han desarrollado y han prosperado las civilizaciones humanas.[29]

Hasta ahora he discutido modelos climáticos, pero las investigaciones más recientes en este campo ya van más allá de la atmósfera y analizan océanos, sistemas terrestres, capas de hielo... Además de los modelos de amplio alcance que aparecen en los anteriores capítulos, tenemos nuevos modelos que examinan las dinámicas de las capas de hielo, el origen de los huracanes, los patrones de los desbordamientos fluviales y otros fenómenos

parecidos. Todos estos estudios ayudan a que los científicos conozcan mejor los puntos de inflexión que desencadenan cambios drásticos en las precipitaciones, las sequías, el hielo, etc.

Entendiendo los puntos de inflexión

Si observamos el rumbo irregular del clima que aparece reflejado en la figura 10, probablemente nos preguntemos qué hace que la Tierra se mueva de manera tan errática, alternando períodos fríos y cálidos o estabilizándose después por siete milenios. ¿Hasta qué punto podemos anticipar estas oscilaciones? ¿Acaso no somos algo así como patinadores que juegan sobre un estanque congelado y no pueden asegurar en qué momento el hielo puede empezar a quebrarse?

La respuesta es que sí podemos anticipar y entender estos procesos, pero para ello debemos conocer los puntos de inflexión, es decir, los umbrales que, en caso de ser rebasados, desatan inestabilidades de gran alcance en los sistemas terrestres. El punto de inflexión se da cuando un cambio incremental en un sistema conlleva una aguda discontinuidad en su comportamiento.

Si lo pensamos, todos estamos familiarizados con los puntos de inflexión que marcan nuestra vida cotidiana. Por ejemplo, si estamos sentados en una canoa y nos inclinamos levemente hacia un lado, sólo estaremos modificando levemente nuestra posición. No obstante, si insistimos en esta postura, terminaremos llegando al punto de inflexión... Y entonces nos mojaremos, puesto que la canoa terminará volcándose. Seguro que a todos nos ha ocurrido algo así, aunque nos dé vergüenza reconocerlo.

Los especialistas financieros también están familiarizados con los puntos de inflexión. Un ejemplo bien conocido es el fenómeno de la «fuga de depósitos» que suelen sufrir aquellas entidades bancarias que están en una situación complicada. Si demasiadas personas pierden la confianza en un banco, se apresuran a acudir al banco e intentan retirar sus fondos. Debido a que los bancos generalmente guardan apenas una pequeña fracción de sus depósitos en efectivo, lo habitual es que no puedan satisfacer el súbito pedido de retirada que les llega de una parte importante

de sus clientes. El proceso puede desencadenar un pánico financiero y llenar las sucursales de gente que quiere sacar sus activos antes de que sea tarde. El clásico ¡*Qué bello es vivir*! de 1946 muestra un fenómeno así en un banco que, por cierto, ligaba los depósitos a un estándar metálico (en este caso la plata).

En décadas recientes este tipo de fenómenos parecía haber pasado a los libros de historia económica. Sin embargo, las crisis de 2007 y 2008 desembocaron en un fenómeno similar. Esta vez el proceso se daba de forma más rápida y menos aparente: mediante transferencias electrónicas. En marzo de 2008, los prestamistas empezaron a dudar del banco de inversión estadounidense Bear Stearns. En septiembre de ese mismo año, ocurrió algo similar con Lehman Brothers. En apenas una noche se cursaban órdenes de retirada por montos de miles de millones de dólares. La desconfianza rebasó un umbral crítico y estos gigantes financieros se quedaron en bancarrota en apenas una semana. No sólo eso: el pánico financiero salpicó finalmente al conjunto de la economía estadounidense, desencadenando una crisis que también afectó al resto del mundo. Algo parecido ocurrió en Grecia y Chipre en los años 2012 y 2013. Cuando la gente empezó a pensar que los euros que habían depositado en los bancos de estos países mediterráneos podían perder su valor, optó por acudir a las sucursales o por realizar transferencias electrónicas.

Una de las lecciones más importantes que nos dejan las recientes crisis financieras es que nadie entendió cuán frágil era el sistema. Es más, nadie anticipó cuán profundos serían los costes económicos de los pánicos financieros. Por tanto, debemos prestar atención a esta lección a la hora de pensar en los puntos de inflexión que podrían cruzarse cuando las alteraciones del clima rebasan ciertos niveles.

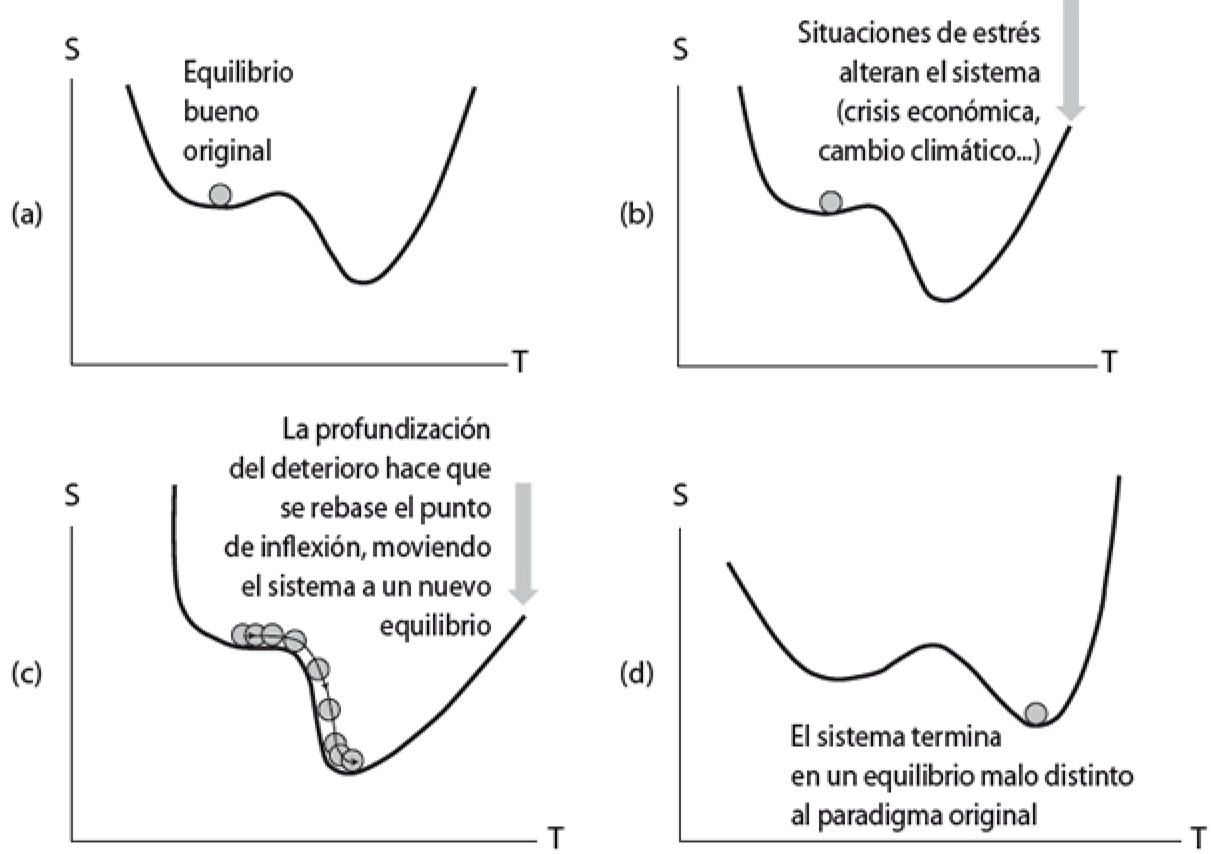
Ruptura del equilibrio

La figura 11 ilustra los puntos de inflexión con cuatro gráficos en los que vemos la ruptura de un buen equilibrio y el paso a un nuevo paradigma mucho peor. El cambio queda ilustrado con el movimiento de una pelota a lo largo de una curva que describe las nuevas situaciones de estrés que

provocan cambios en el sistema. El ejemplo nos sirve para hablar de economía o de ecología. En ambos casos vemos que el gráfico (a) muestra un equilibrio bueno o deseable que luego se ve quebrado en los gráficos (b) y (c), a raíz de la aparición de cambios que deterioran las condiciones del sistema. Una vez se rebasa el punto de inflexión, llegamos al nuevo equilibrio (d). La pelota ha pasado de un paradigma a otro y el sistema ha pasado de una buena a una mala situación.

En el gráfico (a) la pelota podía moverse dentro de los márgenes del equilibrio vigente, puesto que la curva tenía forma de cuenco. Sin embargo, las modificaciones de la curva que vemos en (b) y (c) provocan el desplome de la pelota al nuevo equilibrio descrito por el gráfico (d). Ese último escenario plantea el dilema de la estabilidad en malas condiciones: un sistema económico puede dar por zanjada una crisis, pero ¿acaso significa eso que se produzca una recuperación suficiente? He ahí el mismo problema que enfrenta el clima: si se rebasan algunos niveles, los nuevos equilibrios alcanzados pueden ser puntos de no retorno que arrojan una situación mucho peor para el planeta y para quienes vivimos en él.[30]

FIGURA 11 **Puntos de inflexión. Los cuatro gráficos muestran el tránsito de un buen equilibrio a un mal equilibrio**



Nota: El cambio es súbito y se produce con cambios graduales en la forma de la curva que, si bien no parecen dramáticos, terminan alterando por completo el paradigma. S: Salud de la economía o el ecosistema.

¿Qué es lo que provoca este extraño comportamiento? La causa básica es la reacción no lineal a las tensiones, como lo demuestra el cuenco curvo de doble fondo. Cuando los sistemas tienen este tipo de comportamiento no lineal como consecuencia de un estrés determinado, existe la posibilidad de que se rebasen los puntos de inflexión y se generen nuevos equilibrios que, además, son peores que los anteriores.

Cuando conocemos los puntos de inflexión, podemos intentar evitarlos: sentarnos bien en la canoa, ser prudentes a la hora de analizar la solvencia de los bancos en los que confiamos, etc. Pero también es evidente que, si no lo logramos, sufrimos las consecuencias: caemos al agua, perdemos nuestro dinero, etc.

Los sistemas pueden cambiar a peor de forma rápida e inesperada. De hecho, hay quienes definen el cambio climático como la modificación «abrupta» del estado climático, partiendo de que esa velocidad es su característica central.[31] El brillante economista Rudi Dornbusch ha comentado que las crisis financieras se gestan durante más tiempo de lo que creemos, pero ocurren también más rápido de lo que podamos imaginar. Una de las características más peligrosas que tienen los puntos de inflexión y los eventos abruptos es la imprevisibilidad que acarrea su desarrollo.[32]

Puntos de equilibrio peligrosos

¿Cuáles son los puntos de equilibrio relevantes para el estudio del cambio climático? Tenemos que partir de que estos eventos son imposibles de predecir con exactitud, al igual que ocurre con el momento exacto en el que vuelca la canoa o se desata la crisis financiera. De hecho, del mismo modo que pueden ocurrir rápida e inesperadamente, también puede ocurrir que no lleguen a suceder en absoluto.

Pero, con ese trasfondo, sí sabemos que hay cuatro puntos de inflexión climática que generan particular preocupación:

- El colapso de las grandes capas de hielo.
- Los cambios a gran escala en la circulación oceánica.
- Los procesos de retroalimentación mediante los cuales el calentamiento provoca más calentamiento.
- El calentamiento continuado y de largo plazo.

El primer punto se refiere, por ejemplo, al aumento del nivel del mar por la fusión abrupta o el colapso de las principales capas de hielo de Groenlandia y la Antártida Occidental. Estos eventos tendrían consecuencias adversas para todo el planeta, particularmente para las comunidades costeras, que a menudo son el punto de residencia de grandes grupos de población. Si se dan estos procesos, el nivel del mar podría subir de manera gradual sin necesidad de que se produzca un evento abrupto en concreto. Muchos especialistas creen que los modelos actuales de

desintegración de glaciares no capturan completamente esta dinámica y que el aumento puede ocurrir mucho más rápidamente. De hecho, los científicos están trabajando duro para introducir estos cambios en sus modelos. De momento, hay avances que permiten pensar que en los próximos años entenderemos mejor el ritmo y el alcance del proceso de fusión de la capa de hielo.[33] Hablaremos más de este punto de inflexión en la siguiente sección del libro.

Una segunda singularidad importante es la que refleja el segundo punto: el cambio en las corrientes oceánicas, en particular en la circulación termohalina del Atlántico, conocida popularmente como «Corriente del Golfo». En la era actual, la Corriente del Golfo transporta aguas cálidas de superficie al Atlántico Norte. Como resultado, las comunidades del Atlántico Norte son mucho más cálidas de lo que, a priori, indicaría su latitud. Por ejemplo, Escocia está a la misma latitud que la península de Kamchatka, en el lejano este de Rusia, pero la temperatura promedio en Escocia es aproximadamente 12 grados centígrados más alta que en Kamchatka.

Aunque la Corriente del Golfo ha permanecido estable durante varios miles de años, parece que se produjeron cambios grandes y rápidos en épocas anteriores, particularmente durante las Edades del Hielo. De hecho, ha llegado a cambiar de dirección en varias ocasiones. Una nueva reversión de la Corriente del Golfo conduciría a una fuerte caída de la temperatura en la región del Atlántico Norte, ya que el nuevo recorrido no traería flujos de agua caliente hacia dicha región.

En la actualidad, conforme las cálidas aguas superficiales de la Corriente del Golfo se mueven hacia el norte, su calor se va liberando en la región del Atlántico Norte. El resultado de este fenómeno es que las comunidades de dicho entorno presentan condiciones agradables para la vida humana y de otros seres vivos. A medida que el agua sigue fluyendo hacia el norte, se produce un fenómeno de enfriamiento y de mayor densidad. Al final, el agua más fría y densa se hunde, hasta terminar moviéndose hacia el sur, como si fuese portada por una cinta transportadora.

¿Qué puede producir un cambio en el flujo de la Corriente del Golfo? En un mundo más cálido, esa suerte de cinta transportadora que describíamos antes podría terminar por romperse. Esto ocurriría debido al aumento de la temperatura y la precipitación de agua dulce en latitudes más altas. Los cambios reducirían la densidad de las aguas superficiales, puesto que en ellas ganaría peso el agua dulce frente al agua salada. El proceso resultante debilitaría y reduciría el funcionamiento de esa cinta transportadora, hasta provocar su parón o incluso su retroceso. El resultado sería un enfriamiento progresivo del Atlántico Norte en relación con el resto del mundo.

Los estudios más recientes indican que es probable que la Corriente del Golfo se debilite durante el próximo siglo. Sin embargo, esas mismas evaluaciones de expertos ven poco probable que se llegue a dar una transición abrupta o un colapso repentino. Incluso muchos modelos que apuntan al debilitamiento de la cinta transportadora señalan que, pese a este fenómeno, el Atlántico Norte seguiría aumentando sus temperaturas, puesto que el calentamiento generado por otras vías sería mayor.

La tercera preocupación guarda relación con el refuerzo mutuo que producen ciertos procesos del clima, la biosfera y el ciclo de carbono. El miedo aquí es que estos procesos se retroalimenten positivamente, exacerbándose los unos a los otros. Para entenderlo mejor, debemos acudir de nuevo a los modelos climáticos. Muchos de ellos parten de un escenario determinado de emisiones industriales de CO_2 y otros GEI. El CO_2 se distribuiría gradualmente a través de distintas vías: la atmósfera, los océanos, la biosfera... En un escenario estándar, el CO_2 generado estaría ligado a la actividad humana, por ejemplo a la quema de combustibles fósiles.

Un clima más cálido y una mayor concentración de CO_2 podrían inducir efectos que refuercen los fenómenos causados por ese aumento en las emisiones industriales. Un ejemplo de esta retroalimentación lo tenemos nuevamente en los océanos. Como resultado de la complicada química de los mares, la captación de CO_2 por parte del agua se iría reduciendo conforme el planeta entero va experimentando una mayor temperatura y los

océanos se van saturando de carbono. El resultado de este proceso es que se terminaría incrementando un 20 por ciento la concentración atmosférica de CO_2.[34]

Una retroalimentación más poderosa aún es la que tiene lugar cuando analizamos el efecto del calentamiento en la liberación de gases «encerrados» como el carbono o el metano (CH_4). Este último es un potente gas de efecto invernadero que se transforma gradualmente en el compuesto estable que conocemos como CO_2. Una gran cantidad de metano se almacena progresivamente en forma de hidratos de metano, que no son más que moléculas de este gas atrapadas en cristales de hielo. La mayoría de esos hidratos se almacena en sedimentos oceánicos, mientras que una parte menor pero también relevante termina en el suelo de regiones frías. Los científicos creen que el calentamiento aumentaría las emisiones de metano que parten de estas dos fuentes y terminan llegando a la atmósfera. Esto podría intensificar el proceso de calentamiento global, aunque el desarrollo de este fenómeno aún no está del todo claro, sobre todo en lo tocante a sus plazos.

Un cuarto y último aspecto que genera nerviosismo es el que tiene que ver con la diferente respuesta que reciben las actividades humanas a medio y largo plazo. Los modelos climáticos vigentes suelen estar pensados para calcular procesos de retroalimentación relativamente rápidos. Hablamos, pues, de dinámicas que incorporan el efecto directo de una concentración creciente de GEI o los cambios en el vapor de agua, las nubes y el hielo marino. En términos económicos, el calendario que se maneja para estos fenómenos es de muy largo plazo, puesto que hablamos de siglos y no de meses o años como es habitual en dicho campo. Sin embargo, para los estándares de los científicos de la tierra, estamos ante fenómenos que se mueven en plazos relativamente breves y estrechos.

De igual modo, también es probable que existan procesos de retroalimentación de velocidad lenta. Su desarrollo en el tiempo sería aún más dilatado, pero el resultado también amplificaría los efectos del calentamiento global. Estos procesos lentos engloban, por ejemplo, la desintegración de la capa de hielo, la migración y descomposición de la vegetación o la liberación acelerada de GEI desde el suelo, la tundra o los

sedimentos oceánicos. Por ejemplo, conforme los glaciares y las capas de hielo se derriten, o conforme se adelanta el fundido de las nieves primaverales, la Tierra se vuelve más oscura. Esto influye en la reflectividad del albedo inferior, calentando el planeta.

Algunos modelos sugieren que, cuando se contabilizan también los procesos de retroalimentación lenta, la sensibilidad climática puede ser el doble de lo que estima el grueso de cálculos climáticos empleados en la actualidad. Así, el resultado de la duplicación en la concentración de CO_2 no sería de 3, sino que alcanzaría los 6 grados centígrados.[35]

Si bien ésta es una perspectiva aterradora, aún debe ser validada por estudios e investigaciones adicionales. Y, en cualquier caso, hablamos de fenómenos que pueden llegar a abarcar cientos de miles de años. Por tanto, es lógico pensar que tendremos tiempo para comprender y reaccionar a estos procesos de retroalimentación lenta, de modo que la alarma que deberían suscitar estos hallazgos tiene que ser matizada y contextualizada. En cualquier caso, será necesario incorporar esta variable en los estudios sobre los efectos de las políticas climáticas, para así abarcar el más largo plazo.

Hemos identificado cuatro puntos de inflexión a escala global, pero la discusión no termina ahí. Por ejemplo, algunos científicos marinos creen que ya se ha superado un punto de inflexión menos dramático, pero igualmente importante. Se refieren al hecho de que la suma del calentamiento al aumento de la concentración de CO_2 termina por provocar una pérdida catastrófica de los arrecifes de coral y los sistemas que dependen de ellos.

Aunque los arrecifes de coral representan una pequeña fracción de los océanos, son extremadamente productivos para la alimentación de la vida marina. Los científicos estiman que ya hemos perdido la quinta parte de los arrecifes de coral del mundo, debido a la destrucción del hábitat, la contaminación, la pesca excesiva, el calentamiento y la acidificación de los océanos. De cara a las próximas décadas, la principal amenaza en este campo es la que entraña el aumento de la concentración de carbono en los

océanos, causado a su vez por el aumento de CO_2 en la atmósfera. Éste es el fenómeno de la acidificación de los océanos, analizado en detalle en el capítulo 9.

Con las concentraciones actuales de CO_2, los arrecifes de coral probablemente entrarán en declive a largo plazo. Según un informe del grupo técnico de científicos de la Royal Society del Reino Unido, si las concentraciones de CO_2 alcanzan las 450 ppm (algo que probablemente ocurrirá dentro de tres décadas), entonces los arrecifes de coral entrarán en un declive terminal en todo el mundo, tanto por el blanqueamiento inducido por las temperaturas como por el proceso de acidificación de los océanos.[36]

Se han realizado algunos estudios sobre los puntos de inflexión en los sistemas terrestres. Un artículo particularmente interesante de Lenton y sus colegas de investigación examina esta cuestión y evalúa el grado de sincronización de estos procesos.[37] Este trabajo incide en los cuatro aspectos descritos anteriormente, a los que suma también otros procesos como los cambios en los monzones, el retroceso de la selva tropical brasileña... La investigación concluye que estas dinámicas empiezan a ser irreversibles cuando la temperatura global aumenta al menos 3 grados centígrados. El horizonte temporal de referencia que manejan Lenton y su equipo es de tres siglos. Eso sí: la conclusión es sólo orientativa, puesto que hay una dificultad inherente y evidente en el cálculo de estas cuestiones.[38]

El posible derretimiento de la capa de hielo de Groenlandia

Si analizamos el posible derretimiento de la capa de hielo de Groenlandia (en adelante CHG) podemos entender mejor el funcionamiento de los puntos de inflexión que son motivo de tanta preocupación entre los expertos climáticos. Este análisis nos proporciona una idea de lo que la ciencia del clima está consiguiendo a la hora de ensanchar la frontera del conocimiento.

La CHG cubre 1,7 millones de kilómetros cuadrados, aproximadamente el tamaño de Europa occidental. Es la segunda capa de hielo más grande del planeta, solamente superada por la capa de hielo de la Antártida. Su espesor

medio es de 2.000 metros. Si todo el volumen de la capa de hielo (2,9 millones de kilómetros cúbicos) se derritiera, el nivel del mar aumentaría 7 metros.[39]

Las mediciones del sistema de información geográfica (SIG) indican que la capa de hielo de Groenlandia se mantuvo estable durante la mayor parte del siglo XX, pero empezó a disminuir en las dos últimas décadas. Se estima que el ritmo del derretimiento ha sido de 0,75 milímetros anuales. A nivel global, y mirando al próximo siglo, se estima que la CHG contribuirá a elevar 7 centímetros el nivel del mar, partiendo de que se dan los rápidos aumentos de las temperaturas que anticipan los modelos. Existen cálculos más detallados que indican que, en los tres próximos siglos, un repunte mayor al esperado en la temperatura terminaría elevando el nivel de mar 1,5 metros, sólo como resultado del derretimiento de la CHG. Ampliando el cálculo al próximo milenio, la subida sería de 3 metros, de nuevo simplemente considerando el impacto del calentamiento en la capa de hielo de Groenlandia.[40]

El calentamiento global hace que la CHG se caliente, se derrita, se contraiga y reduzca su elevación. Las temperaturas aumentan a menor altitud, por lo que una capa de hielo más pequeña será más cálida en su parte superior. Ese cambio acelerará aún más la fusión. Por otro lado, la capa de hielo también tendería a ser más oscura a medida que se calienta, absorbiendo más radiación solar y calentándose aún más. Una vez que la CHG rebasa un determinado umbral en un mundo más cálido, la mayor parte de su hielo podría derretirse.

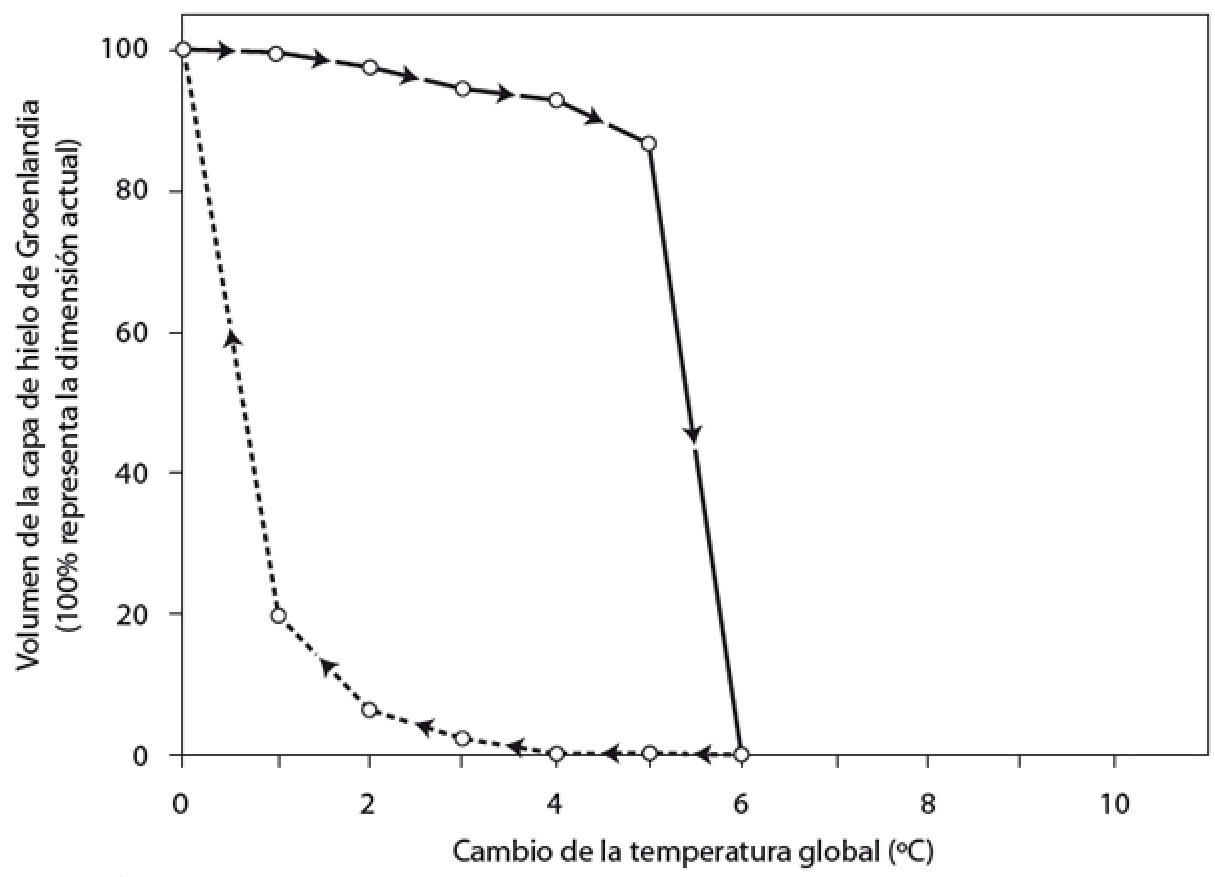
Si bien todo esto parece muy lejano en el futuro, hay científicos preocupados por la estabilidad de la CHG como sistema. Siguiendo la línea explorada en la figura 11, cabría anticipar dos posibles equilibrios: en uno tenemos una capa de hielo blanca, fría y de gran altitud; en otro nos topamos con una Groenlandia más cálida, más verde, de menos altitud..., y con cada vez menos hielo.[41]

¿Y por qué podría haber distintos equilibrios para una misma temperatura? Supongamos que, después de siglos de calentamiento, la capa de hielo restante está en el equilibrio segundo. Entonces, la Tierra comienza a calentarse de nuevo. Sin embargo, dado que la capa de hielo es más cálida

y oscura, se queda atrapada en el equilibrio de la baja elevación. Con un punto de inflexión de este tipo, el derretimiento de la CHG sería irreversible, dando pie a un aumento considerable del nivel del mar.

La figura 12 emplea un modelo sencillo relativo a la CHG para mostrar cómo se puede producir el «salto» que reduzca significativamente el tamaño de la capa.[42] Esta figura muestra dos líneas. La superior representa el volumen de equilibrio de la capa para distintas temperaturas globales, partiendo de los niveles actuales y de las capas de hielo observadas. Las flechas muestran la secuencia que seguiría el proceso de calentamiento. Si la temperatura global sube 1 grado centígrado, la CHG se reduce un 2 por ciento, mientras que 2 grados centígrados acarrean un 4 por ciento de aminoración y 5 grados centígrados implican un 15 por ciento de recorte. Eso sí: a partir de ese nivel, el proceso se vuelve totalmente inestable, desencadenando una espiral de calentamiento, oscurecimiento y derretimiento que, con apenas 1 grado centígrado más, hace que la capa de hielo se funda por completo. Por tanto, pasar de 5 a 6 grados centígrados tiene un impacto tremendo y, si el salto es abrupto, supone un aumento muy rápido y muy peligroso del nivel del mar.

FIGURA 12 **Ilustración del punto de inflexión de la CHG**



Nota: La figura muestra un cálculo del modelo GRANTISM, que recoge la respuesta de la CHG ante diferentes temperaturas globales.

La línea inferior discontinua muestra un conjunto alternativo de tamaños para las placas de hielo. Si seguimos las flechas, podemos ver que, por ejemplo, un enfriamiento de 6 a 5 grados centígrados apenas tiene impacto en la superficie de la capa de hielo de Groenlandia. De hecho, su recuperación sólo empezaría cuando el enfriamiento llevase la temperatura por debajo de los 3 grados centígrados. Incluso si el planeta recupera la temperatura actual, de 1 grado centígrado, la CHG sólo vuelve a tener la quinta parte de su presente dimensión. Sólo un enfriamiento hasta 0 grados centígrados podría hacer que recuperase todo su volumen.

La figura 12 es un ejemplo sorprendente del tipo de inestabilidad que preocupa a los científicos. Nos muestra cómo los sistemas dinámicos complejos pueden moverse a estados completamente diferentes cuando son empujados más allá de algún punto de inflexión. El comportamiento es similar al que describíamos con el ejemplo de la canoa, aunque el impacto es mucho más aterrador, puesto que afecta a todo el planeta.

Debo enfatizar que, si bien la imagen de la figura 12 proviene de un modelo informático detallado del SIG, la he simplificado notablemente para facilitar su comprensión. También hay que decir que otros modelos muestran diferentes patrones. Al final, los científicos no saben con certeza si hay pendientes pronunciadas, como la de la figura 12, o si la pendiente resbaladiza es de 2, o 4 o 6 grados centígrados, o si puede haber muchas pendientes resbaladizas y muchas líneas sólidas y discontinuas diferentes... Sin embargo, el hallazgo más preocupante es el extraño comportamiento de los extremos, que viene reflejado en las figuras 11 y 12 pero ya se ha constatado en diferentes áreas de los sistemas terrestres.[43]

El ejemplo de la capa de hielo de Groenlandia ilustra varios puntos. En primer lugar, demuestra que todos los sistemas involucrados en el análisis de los puntos de inflexión del clima son desconcertantes, porque implican dinámicas poco comprendidas y respuestas no lineales. Por lo general, no sabemos exactamente dónde está el punto de inflexión, cuándo lo cruzaremos o si podemos escalarlo hacia un buen equilibrio a partir de un esfuerzo lo suficientemente grande. Si utilizamos la analogía del pequeño cuenco de doble fondo que aparecía en la figura 11, parece evidente que debemos entender exactamente qué tan empinados son los lados del cuenco, cuánto está inclinado el cuenco y qué tan profundo es el segundo equilibrio malo. Pero el hecho es que aún no tenemos todas las respuestas necesarias para responder a estas cuestiones de vital importancia para lidiar con el calentamiento global.

Incluso si entendiésemos de forma meridianamente clara las dinámicas de los sistemas terrestres, una dificultad adicional sería la de determinar la gravedad de las consecuencias que se derivan de los cambios profundos que se anticipan en ellos. Esto se puede demostrar con el ejemplo de la CHG, un asunto de gran relevancia para analizar el aumento esperado en el nivel del mar.

Sabemos cuál es la elevación de la mayoría de los lugares de la Tierra y podemos estimar qué ubicaciones estarían más amenazadas por un súbito crecimiento de los niveles del mar. Pero esto no nos dice nada sobre el impacto económico y social de un fenómeno así. No es fácil estimar las consecuencias, porque de hecho puede ocurrir que la elevación se de en dos

o tres siglos, cuando quizá se hayan producido traslados orientados a alejar la vida humana de los lugares potencialmente afectados o quizá se hayan tomado medidas de adaptación que permitan gestionar de forma eficiente un aumento en la altura de los mares. Al fin y al cabo, las ciudades y casas del siglo XXI son muy distintas a las residencias del siglo XVIII, de modo que no sabemos qué nivel de adaptación podemos llegar a conseguir si se consolidan nuevos avances arquitectónicos, ingenieriles, tecnológicos, etc. En la tercera parte del libro hablaremos más de estas cuestiones.

Al menos la hipótesis del aumento del nivel del mar puede dar pie a ciertos análisis socioeconómicos de las consecuencias que cabe esperar, pero hacer lo mismo con otros puntos de inflexión climáticos es aún más complicado. Así, los científicos pueden llegar a estimar el alcance o el momento de la fusión del hielo marino del Ártico en el verano, pero ¿cómo se concreta el impacto socioeconómico que puede tener esto en el ámbito del comercio, en el campo de la vida silvestre o en el terreno de los ecosistemas? ¿Qué puede significar para Rusia o Canadá que sus puertos del norte tengan más o menos meses de operatividad? Son situaciones desconcertantes, como las relacionadas con los cambios a gran escala en el Sáhara o el Amazonas. En un mundo ideal, estas alteraciones no se producirían y seguiríamos viviendo en el mundo actual, para el que estamos preparados. Pero, si el Sáhara se vuelve verde o si el Amazonas se convierte en sabana, entonces no podremos aferrarnos al mundo que conocemos, sino que tendremos que enfrentar los cambios que se producen en el mismo.

La investigación sobre los puntos de inflexión está apenas entrando en una fase prematura. Desde que se escribió el primer borrador de este libro se han descubierto nuevos hallazgos. Pero, por mucho que el conocimiento siga forjándose y avanzando, lo más destacable es que hoy sabemos que los sistemas terrestres pueden sufrir discontinuidades potencialmente peligrosas. De igual modo que un sistema bancario puede colapsar, el planeta también es un sistema que corre el peligro de sufrir una profunda alteración. Una vez la Tierra se haya calentado más de 3 grados centígrados, corremos el peligro de enfrentar esos cambios.

Algunos lectores se preguntarán si realmente debemos tomarnos tan en serio estos cambios. ¿No estaremos haciendo una montaña de un grano de arena? Creo que no. Es cierto que el cambio climático es parte de la historia del planeta, que vivió períodos cálidos en la era de los dinosaurios y etapas frías en las que regiones como Nueva Inglaterra estaban sepultadas por el hielo. ¿Por qué, entonces, debemos tener tanto miedo? ¿Estamos ante un cambio climático diferente a los que ya se han dado anteriormente?

Es cierto que en el pasado se produjeron grandes alteraciones en el clima, algunas de ellas con suma rapidez. Hace unos 12.000 años, por ejemplo, la Tierra experimentó un tercio de la Edad del Hielo en apenas unas pocas décadas. En otras palabras, un tercio del enfriamiento drástico que enterró buena parte de América del Norte bajo una capa de hielo gigante ocurre en unas pocas décadas de abrupto cambio climático. Similares alteraciones tuvieron lugar también en períodos anteriores, aunque las razones no se conocen de forma tan certera.

Pero esta vez es diferente, y es debido al ritmo del cambio climático inducido por el hombre. Los científicos del clima han llegado a la conclusión de que nunca se han producido cambios climáticos con la velocidad y el alcance que estamos presenciando en los últimos 5.000 años, coincidiendo con el curso de la civilización humana. Si bien no existen registros fiables para analizar la temperatura más de un siglo atrás, hay mediciones orientativas obtenidas a partir de fuentes varias: núcleos de hielo, anillos de árboles, polen de plantas antiguas, pozos del subsuelo... Todas estas aproximaciones constatan el acelerado cambio que se está produciendo.

Mirando adelante, la mejor conjetura es que la tasa de cambio climático que enfrentarán las personas durante el próximo siglo será aproximadamente diez veces más veloz que cualquier cambio experimentado por la humanidad en los últimos cinco milenios. Por tanto, hablamos de modificaciones que no tienen precedente alguno desde que la civilización humana desarrolla su vida en la Tierra.

A modo de conclusión

Con estas líneas concluye la primera parte del libro, que sirve de introducción a los conceptos generales del cambio climático. Hemos analizado en qué medida el calentamiento global tiene su origen en el crecimiento económico y las tecnologías, particularmente en el aprovechamiento de los combustibles fósiles que emplean nuestras sociedades. Hemos observado cómo los gases de efecto invernadero, en gran medida invisibles (como el CO_2), están cambiando el balance energético de la Tierra. Los científicos del clima nos dicen que esto llevará a muchos cambios predecibles, como el calentamiento global, un patrón de precipitaciones con mayor intensidad y variación, una sequía progresiva de las regiones centrales de los continentes, una creciente acidificación de los océanos, una amplificación del calentamiento en los polos...

Pero también es probable que nos encontremos con sorpresas más preocupantes y desagradables. Tal vez los inviernos en el hemisferio norte sean mucho más nevados. Quizá los huracanes se intensifiquen enormemente y cambien de rumbo. Quizá la gigantesca capa de hielo de Groenlandia comience a derretirse rápidamente. Quizá la capa de hielo de la Antártida Occidental, que se encuentra en el fondo del mar, puede desintegrarse rápidamente y terminar deslizándose hacia el océano.

Los siguientes apartados del libro examinan los resultados de los cambios climáticos. Se trata de conocer mejor su impacto en los sistemas humanos y naturales, para así diseñar pasos que ayuden a contener y frenar esta deriva. También procuro exponer en qué medida el buen uso de la ciencia y la economía pueden ayudarnos a encontrar políticas efectivas que respondan a este desafío.

Por último, es importante reconocer que el análisis de las políticas del cambio climático debe extenderse más allá de la ciencia pura. Hablamos de medidas que tienen «ganadores» y «perdedores», que exigen negociaciones y que acarrean cargas. Como las soluciones implican acciones gubernamentales (especialmente la cooperación entre gobiernos de distintos países), hablamos de decisiones que comprometen creencias políticas profundamente arraigadas sobre el papel y el tamaño apropiado del Estado. Además, todo esto se juega en un terreno en el que influyen también el dinero, los grupos de presión, etc. El cambio climático ya no es sólo

geofísica y ecología: se ha convertido también en economía y política. Por eso, en la tercera parte del libro, mi objetivo es examinar la narrativa que rodea el debate sobre el cambio climático, con ánimo de facilitar el entendimiento del fenómeno por parte de cualquier observador preocupado.

Segunda parte

El impacto del cambio climático

Toda la evidencia disponible muestra que Dios fue realmente un gran jugador y que el universo es un gran casino en el que se tiran los dados y se gira la ruleta.

Stephen Hawking

6

Un vistazo a las consecuencias

La primera parte de este libro narra cómo la ciencia descubrió que estamos alterando el clima global. Las actividades diarias del hombre (conducir nuestros coches, calentar nuestros hogares, cocinar nuestras pizzas...) generan cambios enormes y duraderos en el mundo que nos rodea. La segunda parte, que arranca en este capítulo, describe el impacto que tienen estos cambios en las sociedades humanas y los sistemas naturales.

Esto supone alterar el enfoque, puesto que pasamos de analizar cambios geofísicos a tratar de anticipar el impacto de dichos fenómenos en los sistemas humanos y otros sistemas vivos. Puede parecer que ésta es una cuestión más accesible y sencilla que la física o la química de la ciencia climática, puesto que de entrada resulta más familiar. Sin embargo, es la tarea más difícil de todas, puesto que es muy complicado concretar los efectos del cambio climático y dar respuesta a las distintas incertidumbres que abarcan sus procesos.

¿Qué problemas surgen a la hora de enfrentar el análisis del impacto del cambio climático? Si volvemos a la figura 1 recordaremos las interacciones entre el calentamiento global, la economía y la política. Hasta ahora, hemos recorrido el paso del recuadro 1 al recuadro 2. Hemos hablado, por tanto, de la creciente concentración de GEI en la atmósfera y de los cambios geofísicos que acarrea dicho fenómeno.

En los párrafos y páginas que siguen rastreamos las consecuencias de estos cambios. ¿Cómo afecta el cambio climático a la economía y la habitabilidad de las diferentes regiones del mundo? ¿Será la comida más cara? ¿Qué ocurrirá con nuestros entornos naturales? ¿Se extinguirán algunas especies? ¿Qué pasará con la vida marina a medida que los océanos se vayan tornando más ácidos?

Al evaluar los efectos dañinos del cambio climático, uno puede sentirse abrumado por el vasto alcance de estos problemas. La última evaluación de impactos que he consultado contiene 976 páginas repletas de información. Hablamos de riesgos muy variados: agotamiento del agua dulce, disrupción en los ecosistemas, deforestación, amenazas para los asentamientos en zonas costeras, riesgos para la salud humana, etc. El alcance de estos problemas también es global, puesto que va del África tropical a los polos.[44]

Como es lógico, este libro no puede tratar cada uno de estos temas, pero sí puede abordar algunas preguntas clave. La mayoría de las personas interesadas en esta cuestión quiere saber cuáles son los impactos más relevantes del cambio climático y también aspira a conocer su gravedad respecto a otros problemas que enfrenta la humanidad.

Así las cosas, ¿cómo se compara el calentamiento global con la crisis financiera, la recesión económica o la pobreza extrema que sufren numerosos países africanos? ¿Cómo les irá a nuestros sistemas naturales más relevantes en un mundo más cálido? Los siguientes capítulos abordan algunas de estas preocupaciones, todas ellas centrales para hablar del impacto del cambio climático. Las páginas que siguen también exploran las dificultades para hacer predicciones, puesto que hablamos de un área de especial complejidad.

Los capítulos 7 y 8 se centran en dos cuestiones que son fundamentales para las sociedades humanas: la agricultura y la salud. Se trata de dos temas recurrentes en las discusiones sobre el impacto del cambio climático. A continuación, en los capítulos 9, 10 y 11, el enfoque se centra en áreas más difíciles de gestionar, como los aumentos del nivel del mar, la acidificación de los océanos, la intensificación de los huracanes o el daño ocasionado en la vida silvestre y los ecosistemas naturales. Estos problemas son relevantes, especialmente porque la adaptabilidad humana y el desarrollo de nuevas tecnologías son mayores en ámbitos como la agricultura y la salud, de manera que hablamos de retos cuya resolución es más compleja. Por último, el capítulo 12 conecta la argumentación desarrollada en los anteriores apartados, con ánimo de ofrecer un resumen final y general de los impactos generales del cambio climático.

Sistemas administrados y no administrados

Un principio central para comprender el impacto del cambio climático es entender la diferencia entre los sistemas administrados y los no administrados. El concepto de gestión parte de la ciencia de la ecología, pero se puede aplicar de manera más general al estudio de cualquier sistema complejo.

Como norma, un *sistema administrado* es aquel en el que las sociedades toman medidas para garantizar el uso eficiente y sostenible de los recursos. Por ejemplo, un agricultor puede introducir un sistema de riego por goteo para optimizar la humedad del suelo en el que se hunden las raíces de sus vides. Otro ejemplo sería el de los agricultores de los desiertos de Arizona que han conseguido impulsar la ganadería lechera a través de distintas tecnologías.

Los sistemas no siempre están bien administrados: también pueden estar sujetos a una mala gestión. Por ejemplo, si se vacían los bosques de manglares para facilitar la actividad extractiva de los productores de combustible, podemos terminar encontrándonos también con una caída del cultivo de camarón, que también se da en estos entornos.

La vida humana es un gran ejemplo de buena administración de los sistemas. Mediante estructuras, infraestructuras, tecnologías e innovaciones varias, los seres humanos pueden vivir hoy en prácticamente cualquier rincón del planeta, desde la Antártida hasta el trópico. De hecho, la vida humana se desarrolla incluso más allá de la Tierra, en los entornos desarrollados para los astronautas.

Por el contrario, un sistema no administrado es aquel que funciona en gran medida sin intervención humana. Esto puede ser así por distintos motivos. Puede que los seres humanos elijan dejar un sistema al margen de sus acciones, por ejemplo una reserva de vida salvaje. Otro ejemplo es el de aquellos sistemas que son inmanejables por definición, puesto que el ser humano no puede llegar a abarcarlos de forma satisfactoria. Es el caso de los huracanes o los fuertes aumentos del nivel del mar, fenómenos a día de hoy imposibles de gestionar.

Otro ejemplo particularmente relevante para hablar de los impactos del calentamiento global es el que distingue entre ecosistemas gestionados y no gestionados. Un ecosistema es la suma de un conjunto de organismos vivos (microbios, hongos, plantas y animales) y el entorno físico en el que interactúan. Uno de los ecosistemas más importantes para los seres humanos es la agricultura. Algunas formas de agricultura se administran con especial celo, como por ejemplo la hidroponía, un método empleado para cultivar plantas usando disoluciones minerales en vez de suelo agrícola. Por lo general, la hidroponía se desarrolla en fábricas de alimentos en las que, con los materiales y el diseño adecuados, se consigue un ecosistema resistente al calor, al frío, a la sequía o al granizo.

En el otro extremo está el sistema alimentario de las culturas de la caza y la recolección, un modelo que practicaron prácticamente todos los seres humanos hasta hace unos 10.000 años, altamente dependiente de los patrones climáticos. La historia del hombre está llena de civilizaciones que declinaron o desaparecieron porque dependían de suministros de alimentos provenientes de sistemas no administrados en los que las cosechas terminaban sufriendo por efecto de la sequía, el frío, la mala gestión de los recursos locales, etc.

Un relato fascinante sobre el declive que sufrieron civilizaciones pasadas debido a este tipo de cuestiones es el que ofrece Jared Diamond en su libro *Colapso*.[45] Dicha obra relata los peligros de la deforestación, la erosión del suelo, la mala gestión del agua, la caza excesiva, la sobreexplotación de los caladeros de pesca... Ofrece ejemplos de distintas sociedades humanas: Groenlandia, la Isla de Pascua, los polinesios de las islas Pitcairn, la civilización maya de América Central, los colectivos anasazi de América del Norte... Desde un punto de vista económico, el declive y el colapso de estas civilizaciones se explica por sus estructuras económicas de base estrecha, que dependían en gran medida de sistemas que, o bien no estaban administrados, o bien estaban mal administrados. Además, hablamos de civilizaciones con escasos vínculos comerciales, de modo que no podían acudir a otros grupos humanos para compensar el déficit productivo de sus propias estructuras. Cuando la mayor parte de la actividad económica se basa en la caza y la recolección local de alimentos,

y el suministro de alimentos se agota debido a una combinación de factores ligados al clima y las actividades humanas, parece evidente que hay poca capacidad de recuperación en el sistema. El resultado es el conocido: la población debe migrar, declinar... o perecer.

Existen múltiples estrategias mediante las cuales los organismos vivos y/o las sociedades humanas pueden administrarse a sí mismas y a su entorno para conseguir aumentar su capacidad de recuperación ante posibles shocks externos. Una estrategia más que evidente es la migración. No es sólo un hábito humano: no olvidemos que las aves y los animales también se trasladan para asegurar sus suministros alimenticios. Otro mecanismo de gestión, al que los humanos son particularmente aficionados, es el desarrollo de tecnologías que les permiten adaptarse a las condiciones locales. Las personas construyen estructuras novedosas que les ayudan a calentarse o enfriarse, para así sobrellevar mejor la oscilación de las temperaturas, refugiarse ante las tormentas, etc. Por esta vía también surgen dispositivos que permiten manipular el entorno en el que residen las personas. Pocas especies han sobrevivido a todos los choques que han ocurrido durante los 4.000 millones de años de vida en la Tierra, pero es notable comprobar hasta qué punto las estrategias de adaptación han permitido que miles de especies se adapten a un sinfín de climas muy diversos.

Debemos tener cuidado en distinguir los sistemas no administrados de los que no se pueden administrar. Los huracanes no se administran porque, con las tecnologías conocidas hoy, es imposible concebir su manejo. En un futuro, a medida que mejoren las tecnologías, los países podrían intentar debilitar los huracanes o desviarlos a pistas menos dañinas. De hecho, el presidente de Microsoft y filántropo Bill Gates registró en 2008 la patente de una técnica que podría contribuir a reducir la intensidad de estos fenómenos. De manera similar, el aumento del nivel del mar, que es uno de los resultados esperados del cambio climático, podría ser manejado mediante técnicas como la siembra de nubes o a través de tecnologías como las que proponen dispositivos de bombeo que trasladen agua de vuelta a la Antártida. Incluso hay quienes han propuesto un enfoque de geoingeniería que pasa por compensar el calentamiento global mediante un aumento en la

reflectividad terrestre. Estas sugerencias han sido evaluadas con mayor detalle en la tercera parte del libro. Una de las grandes ventajas que tienen estas innovaciones es que ofrecen la posibilidad de llegar a administrar un entorno que ahora mismo escapa a nuestra capacidad de gestión. Los seres humanos ya hemos hecho esto en campos como la agricultura, mediante el uso de fertilizantes y riego, o los bosques, donde se aplica el reciclaje de madera o el recurso a ciertos productos forestales. También lo vemos en la pesca, donde la innovación llegó de la mano de nuevas técnicas de piscicultura. Obviamente, hay muchas personas que no se muestran a favor de los peces cultivados, los centros comerciales subterráneos o los organismos genéticamente modificados, pero lo cierto es que estas alternativas han surgido, en gran medida, como una reacción al riesgo que entrañan los sistemas naturales que no pueden ser administrados por el hombre.

TABLA 2 **La administración de los sistemas, en perspectiva**

Sistemas administrados de manera efectiva	Sistemas administrados de manera parcial	Sistemas administrados
El grueso de la actividad económica está en la industria y la sanidad.	Los sectores económicos más vulnerables están vinculados con la agricultura, los bosques, etc.	Huracanes Aumento del nivel del mar Vida salvaje Acidificación oceánica
El grueso de la actividad humana se centra en dormir y navegar por internet.	Surgen sistemas ajenos al mercado en los ecosistemas de las playas y la costa, en los incendios...	

El ejemplo más relevante para entender la importancia de la gestión para el desarrollo de la vida humana es el auge que ha experimentado la medicina moderna. Hasta hace dos siglos se pensaba que las enfermedades y la muerte eran algo determinado por espíritus malignos o designios divinos. Si un niño fallecía a una edad temprana, era por algún tipo de infortunio de este tipo, de modo que tocaba pensar en el siguiente vástago. Pero hoy en día vemos que la salud es algo muy distinto. La atención médica ya supone el 16 por ciento del PIB estadounidense. Si bien la mayoría de nuestros cuerpos siguen estando impulsados por mecanismos y

procesos biológicos, lo cierto es que cada vez bebemos más de medicinas e incluso partes corporales fabricadas artificialmente por el hombre. Hace un par de siglos hablar de ciertos tratamientos o de ciertas prótesis habría parecido ciencia ficción. El cambio ha sido tan acelerado que ningún antepasado podría haber aventurado las novedades que estaban por venir.

¿Por qué es relevante distinguir entre los sistemas administrados y los que no pueden ser gestionados por el hombre? Este tema nos ayuda a identificar qué impactos del cambio climático deben preocuparnos más, puesto que de esta manera podemos saber si cabe algún tipo de adaptabilidad humana o si las alternativas y soluciones brillan por su ausencia.

En la tabla 2 propongo algunas áreas para el análisis y las reparto en tres grupos distintos: los sistemas administrados de manera efectiva, los que pueden ser gestionados aunque sólo parcialmente y los que directamente no pueden ser administrados por el hombre.[46] La mayor parte de la economía recae en el área que puede ser gestionada de manera efectiva, de modo que el impacto directo del cambio climático se antoja limitado. El extremo opuesto es el de los sistemas naturales, que no se administran o no se pueden administrar con las tecnologías vigentes. En este libro intento cargar las tintas en este asunto, puesto que las principales preocupaciones se derivan de este tipo de escenarios y no tanto de sectores donde una administración efectiva o parcial parece suficiente para permitir que las sociedades utilicen estrategias sensatas de adaptación.

El tiempo frente al clima

Antes de analizar el impacto climático, hay que realizar una advertencia significativa sobre esta cuestión. Los impactos climáticos deben distinguirse de los efectos del tiempo. Recordemos que cuando hablamos de clima nos referimos a la variabilidad y la media estadística de factores como la temperatura, las precipitaciones y otras variables. Dicho análisis se hace con la mirada puesta en varias décadas de registros. Sin embargo, cuando

nos referimos al tiempo nos centramos en el efecto concreto de los procesos climáticos en el más corto plazo. Por eso, en el informativo se nos habla del «tiempo», no del «clima», porque la previsión alcanza apenas varios días.

Al estimar los impactos, las personas a menudo confunden el clima con el tiempo. Tenemos mucha evidencia que indica que el tiempo cálido reduce la productividad de las cosechas de los agricultores estadounidenses. Sin embargo, los informes muestran que un ligero calentamiento climático tendría el efecto opuesto. La diferencia radica en que los agricultores pueden asumir un clima más caliente a base de cambiar sus procesos de gestión, pero no pueden adaptarse fácilmente a un cambio severo e inesperado como, por ejemplo, un verano de sequías. Por tanto, los desastres puntuales que golpean las cosechas nos dicen muy poco sobre el cambio climático y sus efectos e impactos de largo plazo. Evidentemente, una inundación, un huracán o una sequía tienen efectos adversos que debemos tener en cuenta. Sin embargo, la pregunta no es si se dan estos procesos, la pregunta es si estos procesos van a más en un mundo más cálido y si podemos hacer algo para gestionar esa mayor incidencia.

La lección, pues, es que nuestro análisis debe tener especial celo a la hora de separar una cuestión de la otra. Debemos centrarnos, por tanto, en examinar los impactos climáticos de largo plazo, no en la eventual variabilidad que presentan los posibles cambios del tiempo en nuestro día a día.

Un análisis del impacto del cambio climático

Cuando consideramos la cuestión del impacto del cambio climático no estamos necesariamente centrados con el cambio climático en sí, sino en el efecto que tiene el cambio climático en la vida humana y los sistemas naturales. Al fin y al cabo, la temperatura media de la superficie terrestre no parece muy importante para nuestro día a día. Probablemente, sabemos tanto de ese mismo indicador que de su equivalente para Júpiter... Lo que sí nos preocupa es el efecto del cambio climático en la sociedad humana y los sistemas físicos y biológicos del planeta. Por tanto, es vital entender esos

efectos, porque si no conocemos el impacto de estos procesos, no podemos tomar medidas que procuren aliviar, frenar o reducir el golpe a nuestras formas de vida.

Un punto igualmente relevante es el de los costes. Los economistas y los ingenieros que se centran en estudiar el cambio climático tienen claro que dar pasos para frenar el calentamiento global o aminorar sus daños exige asumir un precio. Si queremos reducir nuestras emisiones de CO_2, entonces tenemos que acudir a tecnologías y políticas que acarrean un coste económico y reducen nuestros ingresos. Por ejemplo, podemos reducir las emisiones de CO_2 del parque automovilístico si conseguimos una mayor eficiencia en el uso del combustible..., pero eso implica coches más caros. Un automóvil híbrido que funciona con gas y electricidad permite una aminoración del 20 por ciento en las emisiones de CO_2, pero también exige un coste adicional de 3.000 dólares debido al precio de las baterías y otros sistemas integrados en el vehículo. De modo similar, el consumo de energía para calentar y enfriar edificios se puede reducir con un mejor aislamiento y un recurso generalizado a materiales eficientes, pero eso requiere una inversión significativa en tareas de instalación y rehabilitación. Estos asuntos aparecen reflejados en la tercera parte del libro, pero mi intención aquí es recordar que la reducción de emisiones no sale gratis: exige el sacrificio de bienes y servicios que consumimos en la actualidad, a cambio de reducir los daños climáticos futuros.

Las políticas más sensatas ante el calentamiento global requieren de un cierto equilibrio entre los costes que acarrean y los beneficios que ofrecen. Esto significa que una política económicamente deseable será aquella que reduzca las emisiones de manera óptima, encontrando el equilibrio a partir del cual una reducción adicional del daño dejaría de ser rentable en términos del precio que tendríamos que pagar. Este punto es bastante intuitivo, como podemos entender si nos fijamos en las opciones extremas. Podríamos detener el calentamiento global prohibiendo todos los combustibles fósiles de raíz. Como es lógico, nadie aboga por esta política en el más corto plazo, porque sería extraordinariamente costosa («destruiría la economía»). Pero, si no hacemos nada, entonces también permitimos que los daños generados por los combustibles fósiles sigan aumentando de

forma reiterada, de manera que también llegamos a un escenario extraordinariamente peligroso («destruir el planeta»). Si visualizamos estos extremos, vemos que las buenas políticas deben estar en un lugar intermedio: no tienen que «destruir la economía» y tampoco pueden «destruir el planeta». Más adelante explico cómo podemos sopesar ese equilibrio, pero, por ahora, lo importante es dejar claro que dicha armonización de intereses es necesaria para enfrentar el problema de manera sensata.

Una vez hayamos estudiado los costes y los beneficios de las diversas opciones disponibles, surge la necesidad de concretar medidas en el terreno político. Se trata de establecer prioridades y de pasar de la teoría a la práctica. Por ejemplo, si apostamos por eliminar la viruela o por frenar una guerra nuclear, estamos tomando un camino político determinado. En el caso del cambio climático, todo apunta a que deberíamos evitar un calentamiento excesivo, puesto que ya hemos establecido que se pueden dar puntos de inflexión muy graves cuando la temperatura global sea 3 grados centígrados superior a la actual. Así las cosas, lo ideal sería buscar que el calentamiento se limite a 1,5 grados centígrados.[47] En este mismo sentido van muchas reuniones internacionales, donde se ha defendido un umbral de 2 grados centígrados como techo máximo que no debe ser rebasado. Así las cosas, podemos centrarnos en explorar el conocimiento disponible en esta materia y encontrar soluciones que permitan cumplir ese objetivo de largo plazo de forma sensata y equilibrada.

7

El futuro de los sectores agrícolas

Nuestra mirada al impacto económico del cambio climático arranca por la agricultura. De todos los sectores de actividad, se trata del más sensible al clima y, por lo tanto, su sensibilidad a los procesos climáticos es mayor. Sabemos que la mayoría de las plantaciones que conocemos no prosperarían en entornos desérticos como el Sáhara, de modo que es natural preguntarse qué impacto puede tener en los cultivos la generalización de un clima mucho más cálido. Por otro lado, hay distintos procesos climáticos que están directamente relacionados con la actividad agrícola, de modo que tampoco podemos abstraernos de dicha situación. Además, dos de los principales retos para la salud que entraña todo esto son la desnutrición y las enfermedades diarreicas, que se analizan en el capítulo 8 y que están generalmente causadas por dietas deficientes y situaciones de pobreza. Incluso hay preocupación por estos temas desde el punto de vista de la seguridad nacional, ya que hay miedo a que las sequías o la escasez desaten conflictos o migraciones masivas a nivel internacional.

El estudio de la relación entre cambio climático y agricultura es complejo y va más allá del simple análisis del impacto de los cambios de temperatura en la productividad de los cultivos. La agricultura es una actividad administrada de forma efectiva por el hombre, sobre todo en las economías más tecnológicamente avanzadas. En el capítulo 6 hemos mencionado ejemplos de gestión humana de estos sistemas (tecnologías de riego que compensan la variabilidad de la lluvia, etc.). Pero tenemos muchas dudas sobre cómo el ser humano puede lidiar con los retos que el cambio climático plantea en el campo agrícola. ¿Cómo manejarán las diferentes sociedades el cambio climático? ¿Se tomarán medidas de

adaptación que aumenten la productividad de los cultivos? ¿Cómo será la agricultura del siglo XXI, teniendo en cuenta aspectos como los avances en semillas genéticamente modificadas?

Otro abanico de preguntas que también tenemos que estudiar es el que vincula la interacción del cambio climático al crecimiento económico. En la siguiente sección veremos que la magnitud de los impactos depende fundamentalmente del ritmo de expansión de la economía, que a su vez determina la medida en que las sociedades son más o menos dependientes de la agricultura.

Crecimiento, cambio climático y daños

Antes de discutir los impactos del cambio climático en la agricultura, es importante entender dos puntos centrales sobre la relación entre el cambio climático y el crecimiento económico. La magnitud del cambio climático y la gravedad de los daños en sectores como la agricultura dependen principalmente del ritmo del crecimiento económico esperado para el próximo siglo y más allá. Es probable que las sociedades sean mucho más ricas en el futuro, precisamente cuando se enfrenten más directamente con los peligros que encierra el calentamiento global.

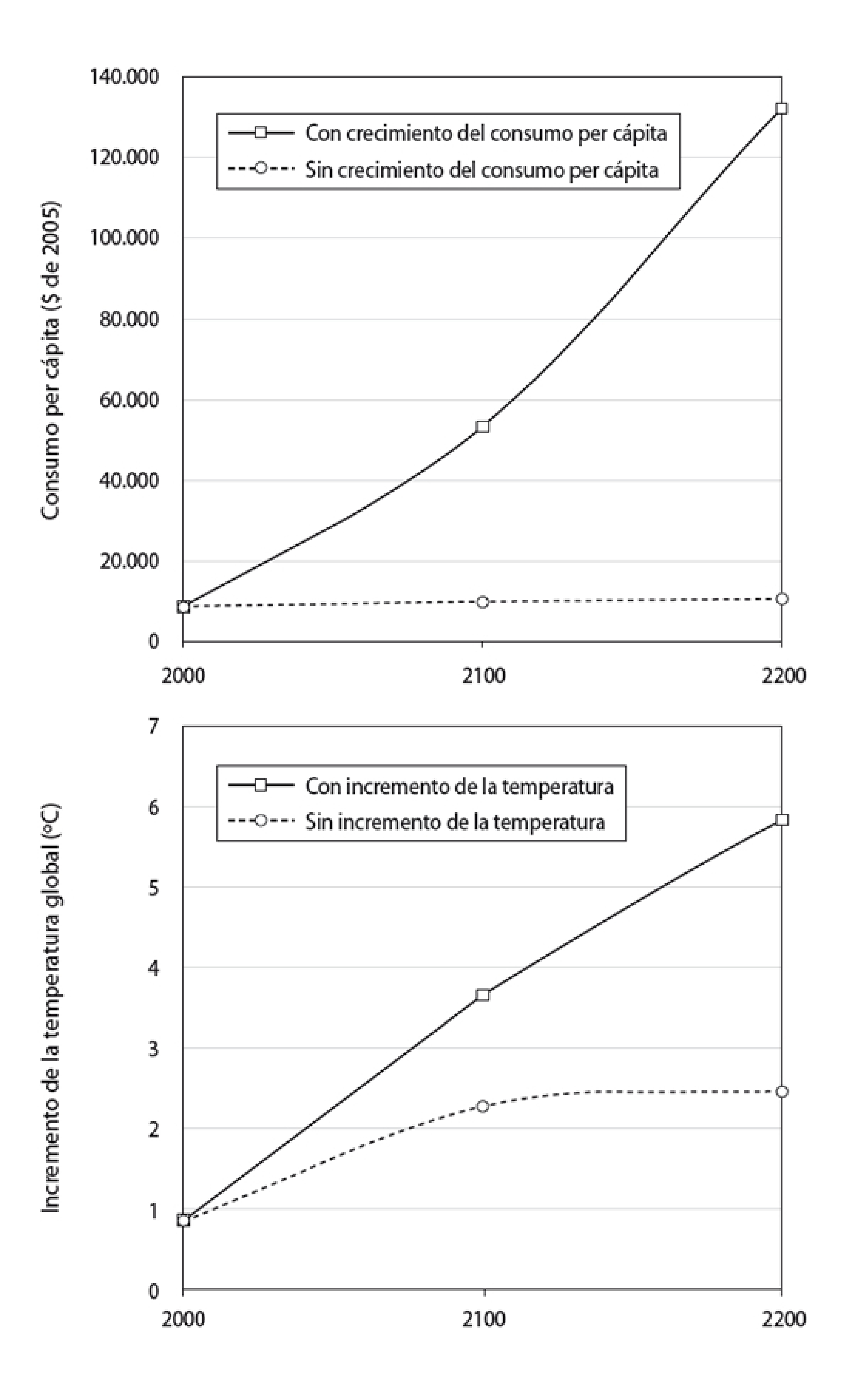
La mejor manera de entender estas cuestiones es comparar dos escenarios de futuro: uno con más crecimiento económico y otro con una situación de estancamiento. Para examinar las perspectivas de cada supuesto, utilizaremos un modelo de evaluación integrado estándar.

El escenario de referencia es el que se emplea para proyectar el crecimiento económico, las emisiones y el cambio climático en un entorno en el que no hay reducción de emisiones ni tampoco otras políticas contra el cambio climático. Este supuesto sirve como la línea de base estándar, como la hipótesis de un mañana sin reacción política. Para desarrollar esta discusión, acudo también al modelo DICE de Yale, introducido en el capítulo 3. Este supuesto parte de que el consumo per cápita continúa aumentando con rapidez a lo largo de las próximas décadas. También asume un crecimiento del PIB global ligeramente inferior al 2 por ciento anual para el siglo XXI, siendo la proyección para el siglo XXII algo menor que una

tasa de expansión media del 1 por ciento. Después de esos dos siglos de crecimiento, el mundo sería un lugar más próspero de lo que arrojan los estándares de hoy. Por ejemplo, el consumo global per cápita sería casi tres veces el nivel actual de Estados Unidos. Pero, por otro lado, este rápido crecimiento motivaría cambios acelerados en las temperaturas globales. Estas proyecciones de crecimiento son estándares para los modelos integrados del clima y la economía (descritos en la primera parte del libro y recogidos especialmente en la figura 9).[48]

Ahora contrastemos el escenario estándar que nos sirve como punto de partida con un entorno en el que no se produzca crecimiento económico de ningún tipo. Cuando digo que no hay crecimiento, me refiero a que no se producen avances en los productos, en los procesos, en la productividad, etc. Bajo este supuesto de estancamiento (poco realista, pero útil para el análisis que estamos haciendo), la sociedad ya no se beneficia de ordenadores cada vez más ágiles, cuidados sanitarios cada vez más avanzados, aplicaciones electrónicas cada vez más sofisticadas... El modelo más reciente que conocemos del iPhone sería el último jamás desarrollado.

FIGURA 13 **Los estándares de vida y el cambio climático evolucionan así en supuestos de distinto crecimiento económico**



140.000
120.000
100.000
80.000
60.000
40.000
20.000
0
Consumo per cápita ($ de 2005)
Con crecimiento del consumo per cápita
Sin crecimiento del consumo per cápita
2000
2100
2200
7
6
5
4
3
2
1
0
Incremento de la temperatura global (ºC)
Con incremento de la temperatura
Sin incremento de la temperatura
2000
2100
2200

Nota: El primer futuro es el del crecimiento cero (sin ganancias de productividad durante dos siglos). El siguiente supuesto es el de un modelo de crecimiento continuado (tal y como asumen buena parte de los modelos de estudio del cambio climático). La medición del consumo per cápita que vemos en el gráfico superior se refiere al gasto medio en comida, vivienda, educación y otros bienes y servicios. En el gráfico inferior vemos lo que ocurre con el clima en un supuesto de nula intervención política. El cambio climático acelerado parece claramente reflejado aquí como una consecuencia no intencionada de un crecimiento prolongado de la producción que no va de la mano de medidas políticas orientadas a frenar el deterioro del medio ambiente.

La figura 13 muestra los dos escenarios gráficamente.[49] Se trata de supuestos estilizados que, no obstante, son útiles para explicar la evolución esperada en los ingresos y en los procesos del cambio climático. El gráfico superior de la figura muestra los dos escenarios económicos: con crecimiento y sin crecimiento. Obviamente, son supuestos diametralmente opuestos. Así, en el escenario de no crecimiento, el consumo global por habitante es de alrededor de 10.000 dólares, de modo que el paso de dos siglos no impediría que el estándar de vida medio siguiera siendo marcadamente inferior al del mundo rico actual. Pero, en un escenario de crecimiento sostenido el consumo mundial per cápita crece a más de 130.000 dólares. Parece una fantasía, pero es perfectamente posible si se mantiene el crecimiento exponencial de los estándares de vida.[50]

Fijémonos a continuación en el segundo gráfico de la figura, que presenta la diferencia en materia de calentamiento para uno y otro supuesto de crecimiento económico. Si hay crecimiento económico el aumento en el año 2100 es de 3,5 grados centígrados, alcanzándose los 6 grados centígrados a finales del siglo XXII. Éste es, en esencia, el escenario que aterra a la mayoría de los científicos.

Bajo el escenario que supone la ausencia de crecimiento, el cambio climático es mucho más moderado. La temperatura media global aumentaría alrededor de 2,5 grados centígrados al final del siglo XXII, incluso en ausencia de medidas políticas que limiten las emisiones contaminantes.

A algunos defensores del medio ambiente les parece atractivo el supuesto del escenario del crecimiento cero, pero esta hipótesis no tiene en cuenta lo desastroso que sería dejar a miles de millones de personas en la estacada, sumidos en la pobreza, la miseria y la enfermedad durante los siglos venideros.

Una conclusión clave del análisis presentado es que el problema del cambio climático es, en gran medida, un subproducto de la combinación de un rápido crecimiento económico que no va de la mano de reducciones en las emisiones. Pero el escenario de crecimiento continuado de la productividad también implica que las personas serán más ricas en el futuro, lo que a su vez implica que las naciones tendrán más capacidad para dar pasos hacia la adaptación, contención y mitigación de los aspectos más adversos del cambio climático, lo cual es positivo.

Así que tenemos una paradoja. Un rápido crecimiento económico sin políticas de reducción de las emisiones producirá un cambio climático más profundo y dejará como resultado unos daños más sustanciales. En el otro extremo, un crecimiento cero nos dejará pobres, con el consuelo de muchos menos daños climáticos.

La posibilidad de que las personas sean más ricas en el futuro no es excusa para ignorar el cambio climático que se genera hoy. De hecho, es un recordatorio de que dejaremos a nuestros nietos una economía más productiva, pero también un clima más degradado. Si comparamos los niveles de vida proyectados para los años 2100 y 2200 bajo los supuestos económicos que se muestran en la figura 13, vemos que este dilema es real: podemos tener un mundo acaudalado pero afectado por el deterioro climático... O un mundo pobre pero algo mejor conservado.

¿Debemos concluir, pues, que nuestro problema es el excesivo crecimiento económico? ¿Tendríamos que aspirar a un crecimiento económico cero? Pocas personas defienden esta vía.[51] Sería algo así como tirar a la basura todo lo que hemos comprado en el supermercado porque no nos gusta el sabor de la leche que hemos escogido. Por tanto, la respuesta a estas preguntas tiene que ser más ponderada y sensata. Así, la forma correcta de lidiar con este reto es corregir los fallos del mercado mediante la reparación de esa externalidad económica negativa que son las emisiones contaminantes. Comprender estas cuestiones ocupa buena parte de la tercera y la cuarta partes del libro.

Impacto del cambio climático en la agricultura

A diario leemos informaciones sobre el hambre en el mundo, los procesos de sequías y desertizaciones, etc. *The New York Times* publicó un influyente y extenso artículo en el que hablaba de lo difícil que puede volverse el reto de blindar la seguridad alimentaria en un mundo más cálido. Además de citar distintos episodios críticos, el periódico concluía: «Muchas de las malas cosechas de las últimas décadas son consecuencia de desastres climáticos: inundaciones en Estados Unidos, sequías en Australia, olas de calor en Europa o Rusia... Los científicos creen que algunos de estos eventos, aunque no todos, han sido provocados o se han visto empeorados por el impacto que tiene el calentamiento global inducido por el hombre».[52]

Una mirada aún más sombría establecía el *Informe Stern*, que nos recordaba que «la disminución de la productividad de los cultivos puede dejar a cientos de millones de personas sin la capacidad de producir o comprar alimentos suficientes para sobrevivir. Esto sería especialmente acusado en las zonas más pobres del mundo. [...] Una vez las temperaturas globales suban unos 3 grados centígrados, entre 250 y 550 millones de personas enfrentarán estos riesgos. Más de la mitad de los afectados son residentes en África y Asia occidental».[53]

El impacto del cambio climático en la agricultura es un área de análisis que ha sido cuidadosamente desarrollada y estudiada. ¿Son las informaciones periodísticas coherentes con las evaluaciones científicas? Para saberlo, vale la pena echar un vistazo al *IV Informe de Evaluación* del IPCC, que recoge una revisión cuidadosa al conocimiento disponible en este campo.

A nivel mundial, este documento proyecta que «el potencial de producción de alimentos aumentará mientras la temperatura aumente entre 1 y 3 grados centígrados, pero superar esos umbrales tendrá el efecto inverso, puesto que la productividad del campo se irá reduciendo. La idea es que los aumentos en la frecuencia de las sequías o las inundaciones van a minar los cultivos de diversas regiones, especialmente en los ámbitos agrícolas de la economía de subsistencia, ubicados a menudo en latitudes sureñas. Introducir tecnologías de adaptación podría ayudar a las zonas cercanas que sufran daños similares».[54]

La productividad de las cosechas suele medirse como la producción por hectárea cultivada. Los hallazgos del IPCC nos dicen que la productividad puede subir mientras el calentamiento sea modesto (inferior a 3 grados centígrados). Como veíamos en la figura 9, los aumentos de temperatura deberían ser de dicho alcance... hasta llegar a las tres últimas décadas del siglo XXI, cuando empezarían a registrarse mayores niveles de calentamiento.

Estas proyecciones deben ser matizadas también por la notable incertidumbre que rodea los modelos climáticos y agrícolas, pero parece evidente que el proceso contempla ganadores y perdedores, dependiendo de la región. Eso sí: como ya hemos dicho, no sabemos lo que pueden suponer los puntos de inflexión en todo esto, de modo que tampoco cabe pronunciarse de forma rotunda en esta materia.

Las evaluaciones adversas que conocemos sobre los impactos del calentamiento global en la agricultura dependen de dos factores principales. Por un lado, es probable que el cambio climático conduzca a climas más cálidos y a una disminución de la humedad del suelo. Esto ocurriría en aquellas regiones del mundo en las que los climas ya están cerca del margen. Los trabajos de mi colega Robert Mendelsohn, de Yale, sugieren que los climas actuales de zonas como América Latina, África y Asia son ya más cálidos que el nivel óptimo para producir alimentos, de modo que en ese caso veríamos una menor productividad de manera más inmediata, justo lo contrario que en otras áreas del mundo que sí podrían aumentar inicialmente sus rendimientos agrícolas.[55] Por otro lado, el cambio climático puede tener efectos adversos en el «ciclo hidrológico», es decir, en los sistemas que proporcionan agua para la agricultura. Los estudios de impacto incluyen supuestos preocupantes, como una disminución de las capas de nieve de las montañas o una disrupción en los cauces estacionales de los ríos. Estos fenómenos reducirían la disponibilidad de agua para el riego, perjudicando la productividad agrícola. Uno y otro factor han sido investigados exhaustivamente con proyecciones climáticas que incorporan modelos de agua y cultivos.

Factores de adaptación y mitigación

Aunque el futuro es más incierto de lo que nos gustaría, sí sabemos que hay distintos factores que pueden contribuir a reducir los efectos dañinos del binomio agricultura-cambio climático. Por ejemplo, la fertilización con carbono, la revisión de los lazos comerciales en el sector primario, la disminución del peso de la agricultura sobre el conjunto del PIB, etc.

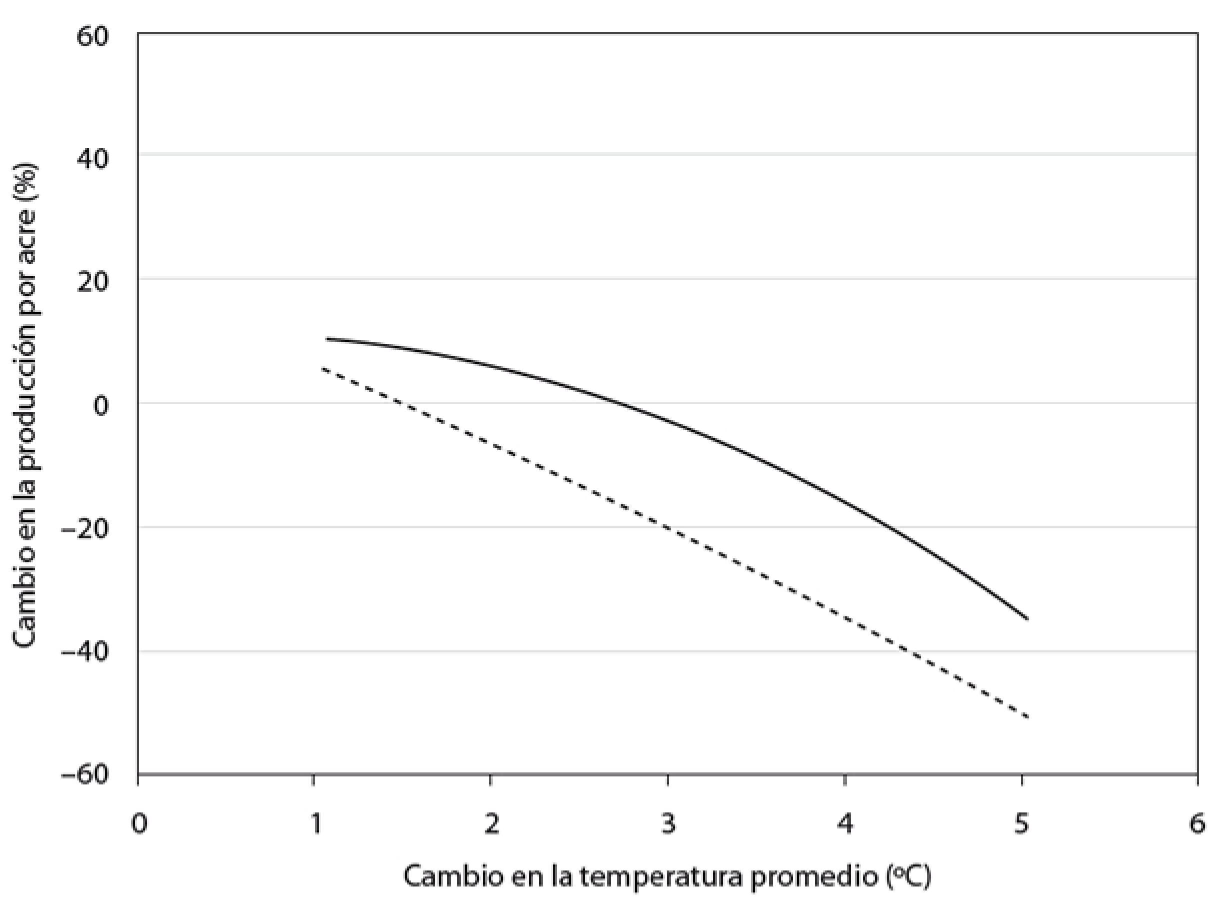
Hemos planteado ya un desarrollo relevante: el de la fertilización con carbono. El dióxido de carbono es un fertilizante para muchas plantas. Ante un aumento del CO_2, los rendimientos del trigo, el algodón o el trébol aumentan de manera notable. Los estudios de campo que se han realizado encuentran que duplicar las concentraciones atmosféricas de CO_2 aumentaría la productividad del arroz, el trigo y la soja en un 10 o incluso un 15 por ciento. Se espera que plantas como el maíz, que fijan el carbono atmosférico a través de la llamada ruta C4, experimentarán un aumento similar, aunque algo menor. Paul Waggoner, que ha dirigido durante años la principal oficina de investigación agrícola de Connecticut y que es todo un pionero en estudiar el impacto del cambio climático en la agricultura, ha concluido que la fertilización con CO_2 puede compensar muchos de los efectos adversos que tendría la generalización de unas condiciones más cálidas y secas.

Otro factor mitigante de gran importancia es el que conforman los procesos de adaptación, otro término para describir lo que llamamos «administración o gestión de sistemas». La adaptación se refiere a los ajustes que hacen los sistemas humanos o naturales en respuesta a los cambios producidos en sus condiciones. Muchos de los estudios que proyectan una menor rentabilidad de los cultivos como consecuencia del cambio climático parten de un reducido margen de innovaciones en el terreno de la adaptación. Por tanto, entender este punto es clave, puesto que una mejor adaptación supone un daño mucho menor.

Las adaptaciones se desarrollan en múltiples niveles. Algunos de sus procesos ocurren sin asistencia humana, como cuando una especie migra hacia una zona climática más amigable, en respuesta a un clima cambiante que ya no le favorece. En la agricultura, por lo general, consideramos que

las adaptaciones más importantes son las que atañen a los agricultores. A corto plazo, los profesionales del ramo pueden ajustar las fechas de siembra y cosecha, cambiar semillas y cultivos o modificar técnicas de producción, como la aplicación de fertilizantes, los métodos de labranza, el secado de grano... Pero, a largo plazo, la adaptación también puede implicar el traslado a nuevas zonas de cultivo, como medida para dejar atrás las tierras que se van tornando infértiles. Igualmente en el largo plazo se pueden introducir cambios como el recurso a nuevas variedades de semillas, esta vez más resistentes ante la sequía y el calor. Además, no hay que olvidar lo mucho que se ha hecho para adaptar los sistemas de riego y hacer usos mucho más eficientes del agua.[56]

FIGURA 14 **Impacto estimado del cambio climático en cultivos de trigo para las regiones de latitudes bajas**



Nota: Las líneas muestran una síntesis de los resultados recogidos en medio centenar de estudios académicos. El objetivo es medir cómo cambia la producción, medida en el rendimiento por acre de superficie, dependiendo del cambio medio registrado en las temperaturas locales. La línea inferior

muestra la respuesta en un contexto en el que no se dan adaptaciones, mientras que la línea superior enseña los cambios de productividad con un conjunto limitado de adaptaciones, básicamente centrado en introducir la fertilización con CO_2.

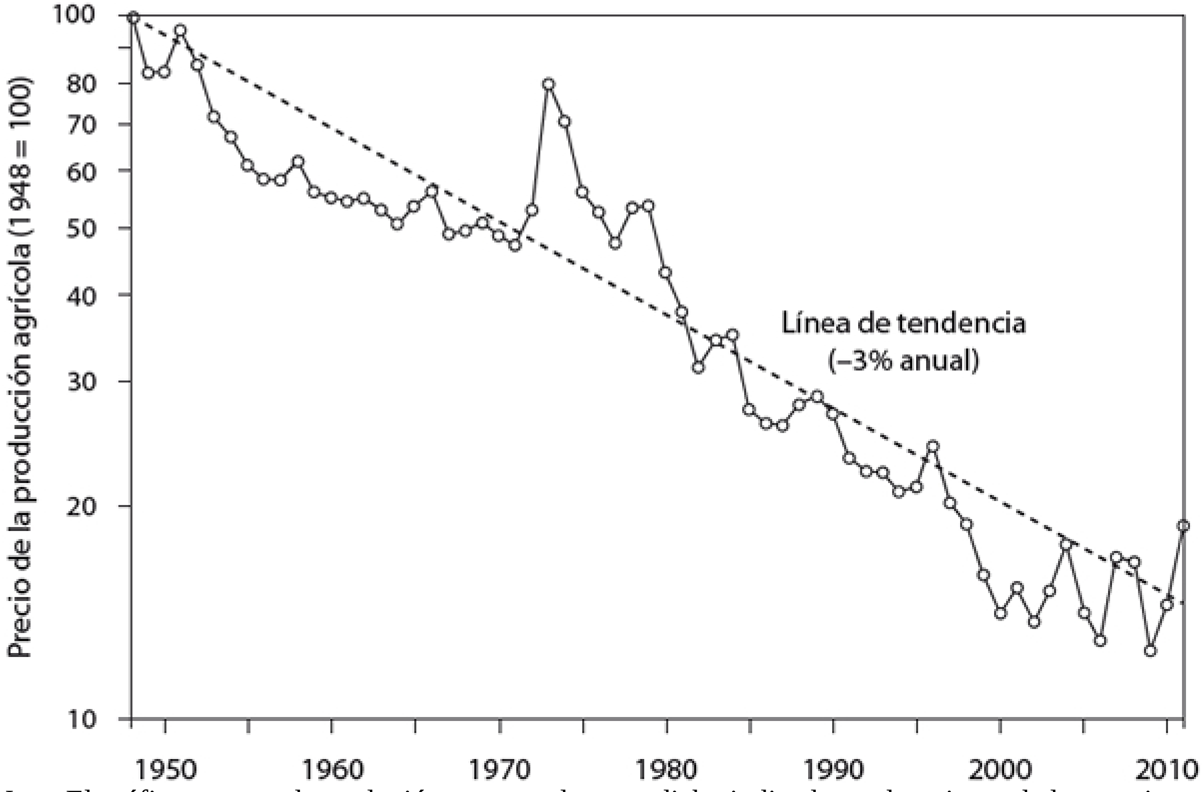
Los estudiosos de la relación entre cambio climático y agricultura han analizado en detalle los impactos que produce el calentamiento en escenarios dispares, con y sin adaptación. Para entender mejor la diferencia, tomemos un ejemplo específico. La figura 14 muestra una síntesis de estudios sobre el efecto del cambio climático en los rendimientos de trigo en regiones de baja latitud, como Brasil o India.[57] El eje horizontal muestra el cambio en la temperatura promedio de las regiones de baja latitud, mientras que el eje vertical muestra el cambio en el rendimiento (o producción por acre de superficie) de los cultivos de trigo. La línea discontinua inferior muestra el impacto del calentamiento sin fertilización con carbono, mientras que la línea continua superior arroja el resultado de implementar dicha tecnología de adaptación.

En el primer caso, que no contempla la fertilización con CO_2, el rendimiento de los cultivos empieza a disminuir una vez las temperaturas aumentan en 1,5 grados centígrados. Sin embargo, la historia es bastante diferente cuando se introduce un proceso de adaptación, esta vez con la fertilización con carbono. En ese caso, los rendimientos del trigo en estas regiones de baja latitud serían crecientes hasta alcanzar un calentamiento de alrededor de 3 grados centígrados, que es básicamente el aumento esperado en la temperatura mundial para finales del presente siglo. Los rendimientos de las cosechas empezarían a bajar a partir de ese umbral, cayendo en un tercio a partir de aumentos de temperatura superiores a los 5 grados centígrados. La misma muestra de estudios encuentra que el cambio de temperatura de equilibrio para el arroz en las regiones de latitudes bajas es algo mayor (alrededor de 4 grados centígrados). Hasta dicho nivel, los cultivos arrojarían mayor productividad conforme la temperatura fuese en aumento. Hay que tener en cuenta, eso sí, que los estudios realizados en este ámbito suelen ser muy conservadores en sus supuestos sobre las adaptaciones, de modo que probablemente subestiman el potencial que tendrían cambios más profundos.[58]

Uno de los principales factores que afectan al cambio climático es el cambio tecnológico. Dicho fenómeno tiene implicaciones para las emisiones, puesto que puede provocar grandes aumentos en la tasa de crecimiento, pero también es una vía para aumentar nuestra habilidad de reducir las emisiones contaminantes con un coste relativamente reducido. Este asunto viene comentado con mayor detalle en la tercera parte del libro, pero, de momento, toca examinar la interacción entre las nuevas tecnologías y el cambio climático, para así determinar el impacto que pueden tener distintas innovaciones en los precios de los alimentos.

A priori, uno puede esperar que un clima más adverso termine reduciendo la productividad de los cultivos, lo que a su vez empujaría al alza el precio de los alimentos. En términos económicos, sería un cambio adverso en la curva de la oferta. ¿Cuáles son las tendencias y perspectivas de los precios agrícolas? La figura 15 muestra la tendencia en los precios reales de los productos agrícolas de Estados Unidos, tomando como referencia los últimos cincuenta años.[59] El índice se construye comparando la relación entre los precios de todos los productos producidos en las granjas y la evolución de los precios de toda la economía. Los precios agrícolas son los precios que cobran los agricultores y, no lo olvidemos, éste es el sector más sensible al cambio climático, puesto que un fenómeno adverso como una sequía o un huracán puede cambiar abruptamente los precios que pagan los consumidores. Sin embargo, no hay que olvidar que los precios agrícolas son sólo una parte del precio de los alimentos, puesto que esta segunda rúbrica también contempla otros costes, como el empaquetado, el transporte, el margen de los distribuidores minoristas, etc. Dicho todo esto, podemos ver que, en las últimas décadas, los precios agrícolas han venido disminuyendo a una tasa promedio del 3 por ciento anual. En 2011 los niveles observados eran la quinta parte que los registros alcanzados tras la segunda guerra mundial.

FIGURA 15 **Tendencia de los precios de los productos agrícolas en Estados Unidos, 1948-2011**



Nota: El gráfico muestra la evolución comparada entre dicho indicador y el conjunto de los precios de la economía estadounidense.

Pero ¿qué hay del futuro? No tenemos una bola de cristal que nos aclare si esa tendencia a la baja en los precios de los alimentos va a continuar o se va a revertir. Tal vez el aumento en el uso de biocombustibles aumentará la demanda de cultivos e incrementará los precios de los alimentos (más sobre esta cuestión en el capítulo 22). No obstante, el problema central de este asunto radica en el impacto diferencial del calentamiento global en la agricultura. Y es que un escenario de escasez de alimentos inducido por el calentamiento global inclinaría hacia arriba la tendencia de los precios, rompiendo con la tendencia mostrada en la figura 15.

¿Qué sugieren los estudios? Una revisión de los modelos mundiales de alimentos en el *IV Informe de Evaluación* del IPCC nos permite aproximarnos a esta cuestión.[60] Los estudios que consideran el rol de la adaptación y del comercio internacional muestran, por lo general, que el calentamiento reduciría los precios mundiales de los alimentos hasta alcanzarse el umbral de los 3 grados centígrados. Esto va en línea con lo que apuntábamos en la figura 14 y en nuestros comentarios sobre la

productividad de los cultivos en un escenario de temperaturas crecientes. Por lo tanto, el calentamiento global reducirá los precios de los alimentos durante las próximas décadas, hasta alcanzar una inflexión en dicho umbral de temperatura adicional.

Esto nos conduce a un factor atenuante: el papel que desempeña el comercio internacional en la agricultura. Cada vez más, la agricultura es una actividad de mercado, no una actividad de subsistencia. Esto hace que surja poco a poco un mercado mundial en el que tienen salida muchos productos agrícolas. Por tanto, dicha dinámica global debe ser tenida en cuenta. Supongamos, por ejemplo, que la productividad del trigo cultivado en Kansas desciende un 10 por ciento debido al cambio climático. Los cálculos realizados por académicos como John Reilly, economista del MIT, indican que algo así no tendrá prácticamente ningún impacto en los precios finales que pagan los consumidores, porque la producción de trigo en otras partes del mundo llenará, en gran medida, la brecha resultante.[61]

Un factor mitigador final es la ya citada disminución del peso de la agricultura en la economía y la fuerza laboral mundial. En el mundo rico, la mayoría de las personas se sorprende cuando conoce lo pequeño que es el ámbito agrícola en comparación con el resto de ramas de actividad. Si tomamos el caso de Estados Unidos vemos que, en 1929, la agricultura había visto reducido su peso sobre el PIB al 10 por ciento. En 2010, dicha cuota era diez veces menor, puesto que ya ni siquiera alcanzaba el 1 por ciento de la producción económica anual.

Esta tendencia se da también en regiones menos prósperas. En Asia, la agricultura suponía el 40 por ciento del PIB en 1960, muy por encima del 12 por ciento observado en 2008. Si nos fijamos en el África subsahariana, detectamos que dicha cuota es de apenas el 13 por ciento del PIB, por mucho que hablemos de una región más empobrecida. De hecho, los números para África presentan una acelerada reducción del peso relativo de la agricultura.

Una de las características más importantes y universales del proceso de desarrollo económico que hemos vivido en los últimos siglos es el cambio del empleo, que abandona las granjas y migra primero a las fábricas y luego a las oficinas de las ciudades. Si la tendencia continúa, es probable que el

impacto del cambio climático en la agricultura suponga un golpe menor para las economías del mundo rico o emergente. Es crítico constatar esta evolución, porque una economía menos dependiente de la agricultura es una economía menos vulnerable a los choques que el cambio climático pueda desencadenar en el sector primario.

La participación decreciente de la agricultura en el PIB indica que el impacto de un cambio a peor no sería tan significativo en los ingresos y el gasto del conjunto de los ciudadanos. Supongamos, por ejemplo, que cada año gastamos el 20 por ciento de nuestra renta en vivienda, frente a un 4 por ciento consagrado a comprar alimentos. Partiendo de este supuesto, imaginemos que la vivienda y los alimentos se encarecen un 25 por ciento a raíz de distintos factores (por ejemplo, climáticos). Para mantener el mismo gasto en vivienda, deberíamos bajar nuestro consumo total un 5 por ciento, mientras que para hacer lo propio con los alimentos sólo deberíamos recortar un 1 por ciento nuestros gastos (0,25 × 20 = 5 vs 0,25 × 4 = 1). De manera que, a medida que disminuye el peso de la agricultura sobre nuestro gasto, el impacto futuro de un eventual repunte en los precios disminuirá su gravedad de manera proporcional al abaratamiento observado anteriormente.

Podemos fijarnos en el peso de la agricultura en la economía estadounidense para ilustrar mejor este punto. Si volvemos a las décadas de 1930 y 1940, un impacto del 25 por ciento en los precios agrícolas habría reducido los ingresos reales de los consumidores en alrededor de un 2 por ciento, porque los productos agrícolas constituían una gran parte de los presupuestos de los consumidores. Sin embargo, con la importancia actual de la agricultura en la actividad económica, el mismo impacto del 25 por ciento en los precios agrícolas produciría apenas una reducción del 0,3 por ciento en los ingresos de los consumidores. Entonces, si bien los alimentos son claramente críticos para nuestra salud y bienestar, la economía puede absorber un gran encarecimiento en los precios del sector agrícola sin enfrentar con ello una notable pérdida de bienestar.[62]

Esta reflexión sobre la agricultura puede resultar un tanto extensa, pero sin duda está justificada. Hablamos de la industria más sensible al clima y de un ámbito en el que podemos ver muy visiblemente la lucha entre los

impactos climáticos y el comportamiento adaptativo de las industrias y actividades humanas.

Los expertos están divididos a la hora de evaluar el impacto del cambio climático en la agricultura porque entienden que la productividad agrícola es muy heterogénea, porque los impactos dependen mucho del clima local y porque hay un notable margen de adaptación ligado al uso del suelo, los cultivos, el mercado, etc. Hay regiones que se verán más afectadas y tendrán menos margen, pero en buena parte del planeta se darán situaciones menos graves.

Las fuerzas adaptativas son muy poderosas. Las tecnologías agrícolas han evolucionado mucho en la mayoría de las regiones del mundo. En el último siglo, los precios de los productos agrícolas han ido disminuyendo con fuerza y el peso de la agricultura sobre el PIB se ha ido reduciendo década tras década en todos los continentes. Además, como la producción de las granjas se vende en mercados cada vez más globales, el impacto del cambio climático en el consumo se verá amortiguado por las fuerzas del mercado y de la adaptación. Asimismo, no hay que olvidar que las migraciones humanas alejarán a la población de regiones que sufran grandes choques. Por tanto, la adaptación es un factor que tenemos que considerar a la hora de medir esta y muchas otras cuestiones del calentamiento global.

Sin embargo, aunque los estudios sugieren que los impactos en la agricultura serán pequeños en el próximo medio siglo, también debemos poner en la balanza las preocupaciones de largo plazo. El daño es mayor conforme estiramos el calendario y contemplamos temperaturas más altas, sobre todo cuando se rebasa el umbral de los 3 grados centígrados al que tantas referencias estamos haciendo.

A largo plazo, la acumulación no controlada de CO_2 y el cambio que supone dicho fenómeno hacen que el comportamiento del clima terrestre se vuelva mucho más incierto. Los riesgos van a más conforme el calentamiento nos acerca a los puntos de inflexión, que desencadenan deterioros mucho más graves. No podemos dejar eso a un lado.[63]

Es probable que el impacto en la economía de la agricultura derivado del cambio climático sea pequeño durante el próximo siglo. Su incidencia será menor a medida que los países se desarrollen y vuelquen su producción y su fuerza laboral en otros sectores. Pero, no lo olvidemos, el panorama a largo plazo es más complejo, sobre todo en un entorno en el que el cambio climático no esté controlado. Si las temperaturas globales aumentan considerablemente, entonces es probable que los cambios en los patrones de precipitación y otras alteraciones bruscas del clima terminen provocando impactos sustanciales en la producción de alimentos, golpeando en última instancia a todos los consumidores.

8

Impacto en la salud humana

Entre los efectos más aterradores del calentamiento global se encuentran los posibles impactos del fenómeno en la salud. Estas inquietudes incluyen la desnutrición, el repunte del estrés ligado a temperaturas extremas, la contaminación del aire o la propagación de enfermedades tropicales como la malaria.[64] Informes especializados en la materia plantean que, en el caso de que las temperaturas globales llegasen a superar en 1 grado centígrado los niveles preindustriales, las muertes provocadas anualmente por el calentamiento se duplicarían y ascenderían a más de 300.000. El repunte sería mayor si se diesen fenómenos climáticos más acuciantes, puesto que ello supondría males adicionales como un crecimiento de la incidencia de la desnutrición.[65]

Todo esto suena extremadamente grave. Sin embargo, al igual que con la agricultura, debemos examinar cuidadosamente los supuestos que inspiran estas proyecciones y examinar también el rol de los factores mitigantes y los procesos de adaptación. ¿Cuáles son las suposiciones de partida sobre el crecimiento económico implícitas en estas estimaciones? ¿Qué alcance tienen los impactos sobre la salud en comparación con la mejora esperada en la salud del grueso de la población mundial? Más importante aún, ¿qué podemos hacer para gestionar mejor los impactos motivados por los efectos del crecimiento económico? ¿Y cómo incorporamos a todo esto la mejora en las tecnologías médicas?

El impacto potencial del calentamiento en la salud humana

Estimar el impacto del cambio climático en la salud humana es tarea compleja. Requiere estimaciones de cambio climático por región y año. Además, exige una estimación detallada del peso que tienen las condiciones climáticas cambiantes en la afección de diferentes enfermedades. Estamos ante todo un desafío, porque los cambios que debemos estudiar tendrán lugar en el futuro, en un mundo en que los ingresos crecientes, la renovación tecnológica y la mejora de la salud habrán evolucionado rápida y favorablemente. Este capítulo plantea algunas estimaciones pero es importante enfatizar que sólo estamos ante hipótesis que no pueden más que aproximarse a una situación que podría ser mucho más grave o mucho menos preocupante, dependiendo de los desarrollos futuros.

La evaluación más detallada del impacto del calentamiento en la salud la encontramos en un estudio realizado por un equipo de científicos de la salud y el clima. El trabajo fue encargado por la Organización Mundial de la Salud (OMS).[66] Se trata de un informe que analiza dos mecanismos a través de los cuales se producen impactos en la salud. El primero es el efecto directo del aumento del estrés ambiental en las personas, debido a fenómenos como las olas de calor, la contaminación o las inundaciones. El segundo es el efecto indirecto que se produce cuando el calentamiento global contribuye a disminuir el nivel de vida de las personas, cuando ayuda a expandir geográficamente ciertas enfermedades infecciosas como la malaria, cuando incide en un empeoramiento de la malnutrición o cuando multiplica los trastornos diarreicos.

El equipo de estudio comenzó examinando la evidencia existente sobre la relación entre diferentes enfermedades y condiciones climáticas. A continuación, estimaron el vínculo entre el calentamiento y el aumento de la probabilidad de contraer ciertas enfermedades. Combinando sus pesquisas, proyectaron el riesgo general para la salud derivado del cambio climático.

Más precisamente, los investigadores partieron de estimaciones sobre el estado de salud en diferentes regiones, asumiendo un escenario sin calentamiento. A continuación, emplearon supuestos de calentamiento estándar, de acuerdo con lo recogido en buena parte de los modelos

climáticos. El siguiente paso implicó producir una nueva estimación del estado de salud de la población. Finalmente, se comparaban ambos escenarios, para estimar el impacto del calentamiento global.[67]

El equipo de analistas de la OMS identificó tres áreas principales de preocupación: la malnutrición (por ingresos escasos), las enfermedades diarreicas (por sistemas de salud deficientes o problemas de saneamiento) y la malaria (que podría expandirse geográficamente, en el marco de un deterioro climático).

El informe emplea una innovación interesante para la investigación sobre cambio climático y salud pública, puesto que desarrolla el concepto del «año de vida ajustado a la discapacidad» (DALY, por sus siglas en inglés).[68] El indicador DALY mide la pérdida en años de vida saludable que provocan distintas enfermedades. Aquí entran dos factores: los años de vida perdidos y la fracción de años sanos perdidos. Por ejemplo, si una persona de setenta años tiene una esperanza de vida equivalente a llegar a los ochenta años de edad pero muere ese mismo año por una insuficiencia cardíaca, hablamos de diez DALY perdidos. De igual modo, si una niña en Tanzania contrae malaria, su esperanza de vida se reduce a aproximadamente treinta y tres años, por lo que la pérdida sería equivalente en DALY.[69]

Por otro lado, si alguien no está en perfecto estado de salud, se considera que tiene una discapacidad y que esto entra en el cálculo de DALY. Por ejemplo, si alguien se queda ciego por algún problema ligado al mal saneamiento, este síndrome sería equivalente al 62 por ciento de una muerte. La sordera se cuenta igualmente, esta vez como un tercio de una muerte. Hablamos, claro está, de un enfoque abierto al debate, aunque la idea general es evidente: se trata de evitar la muerte y la enfermedad en la medida de lo posible.

Las técnicas empleadas para estimar el impacto del cambio climático en la salud humana son desafiantes y no están exentas de críticas. Por lo tanto, esbozo una visión detallada de las estimaciones, en particular en todo lo tocante a las enfermedades diarreicas. Esta sección es más técnica que la mayoría de las demás y puede ser omitida por el lector que simplemente

desee obtener una visión más general. Sin embargo, para aquellos lectores interesados en un mayor nivel de detalle, los citados segmentos del capítulo aportan información adicional sobre estas cuestiones de tan difícil análisis.

Actualmente no hay estudios globales sobre el impacto del cambio climático en las enfermedades diarreicas, por lo que el equipo de la OMS tuvo que crear sus propios métodos de cálculo. El estudio asume que no hay impactos adversos en países con ingresos per cápita de más de 6.000 dólares anuales. También parte de que la incidencia de las enfermedades diarreicas en los países de menores ingresos aumentaría un 10 por ciento por cada grado centígrado de temperatura adicional. Estas estimaciones parten de estudios realizados en países como Perú o Fiji, a falta de análisis más generales. Por otro lado, los estudios asumen que, bajo este umbral de renta, las mejoras tecnológicas, el aumento de ingresos o los avances en materia de salud no terminan por llegar efectivamente a la población afectada.

La tabla 3 muestra un resumen de resultados referido a la pérdida de salud que habría provocado el cambio climático a mediados del siglo XXI. La pérdida estimada se refleja en DALY, tomando en cuenta dos regiones distintas. Hay que tener en cuenta que la estimación es de máximos, es decir, contempla el mayor golpe posible a la salud humana, dentro de los supuestos descritos anteriormente. Para elaborar esta tabla he tomado los resultados de regiones opuestas: por un lado, los países de ingreso alto; por otro lado, las distintas naciones del continente africano. De esta forma podemos comparar países que están en situaciones muy distintas, lo que nos permite evaluar mejor los impactos y tendencias que se están dando a nivel global.[70]

TABLA 3 **Estimación del impacto del cambio climático en la salud humana, 2050**

Aumento del riesgo por cambio climático	**Total**	**Enfermedades diarreicas**	**Malaria**	**Deficiencias nutricionales**
	Años de vida (en DALY) perdidos por cada 1.000 habitantes			
África	14,91	6,99	7,13	0,80
Países de ingreso alto	0,02	0,02	0,00	0,00

Aumento del riesgo porcentaje de la mortalidad estimada de partida	Total	Enfermedades diarreicas	Malaria	Deficiencias nutricionales
	Porcentaje de pérdidas por el cambio climático			
África	2,92	1,37	1,40	0,16
Países de ingreso alto	0,01	0,01	0,00	0,00

La parte superior de la tabla 3 muestra la pérdida de DALY derivada del deterioro provocado por el cambio climático en el alcance potencial de enfermedades relevantes. Según lo indicado en el anterior párrafo, he recogido el mayor impacto estimado por los expertos de la OMS, de modo que también cabe la posibilidad de que el golpe sea menor. El resultado es que el cambio climático produciría una pérdida de 15 DALY por cada 1.000 habitantes del continente africano. Dicho de otro modo, la vida de los africanos se acortaría en 0,015 años o, lo que es lo mismo, alrededor de cinco días.

Las enfermedades diarreicas y la malaria representan aproximadamente la mitad de los riesgos de salud en África. En la sección inferior de la tabla 3 vemos que la incidencia del cambio climático supone un deterioro del 2,92 por ciento en los indicadores de mortalidad, medida en DALY. Por tanto, el impacto es apenas un pequeño aumento en los riesgos para la salud.

A continuación, podemos fijarnos en las estimaciones para los países en desarrollo, que incluyen principalmente Estados Unidos, Europa occidental y Japón. Los riesgos para la salud estimados aquí son nimios, puesto que apenas suponen el 0,01 por ciento del total de años de vida perdidos. Los motivos de este reducido impacto son, principalmente, tres: ingresos altos, buenas estructuras de salud pública y climas templados.

Si nos fijamos en el mundo en su conjunto, encontramos un mayor riesgo para la salud, empujado al alza por los datos que ya hemos citado en el caso de África y por las cifras correspondientes al Sudeste Asiático. Para

las regiones desarrolladas de América del Norte y Europa occidental el repunte en los riesgos para la salud es mínimo, mientras que en otras latitudes como América Latina se observa un daño intermedio.

Las enfermedades diarreicas constituyen aproximadamente la mitad de los riesgos para la salud mundial estimados por el cambio climático. La malaria y los problemas ligados a la nutrición son responsables de aproximadamente una cuarta parte. Hay que tener en cuenta que la tabla 3 excluye otros riesgos para la salud, como las inundaciones, las enfermedades tropicales, el estrés inducido por un fuerte crecimiento de las temperaturas, etc. Sin embargo, el daño provocado por todas estas cuestiones es mucho menor, de acuerdo con lo estimado por el equipo de la OMS.[71]

Riesgos para la salud en un contexto de desarrollo económico

Después de haber trabajado en este campo durante muchos años, he llegado a concebir el análisis de impactos como una cuestión que se debe abordar de forma somera y reposada. No podemos mezclar todo en la batidora, porque de ahí salen los planteamientos más irresponsables.

Estudiar el impacto del cambio climático en la salud es algo crucial. La salud es fundamental para el bienestar de las personas y para el desarrollo económico. Su relevancia para el progreso es innegable, como podemos ver si constatamos los avances de las últimas décadas.

No podemos ignorar la manera en que los países más pobres han mejorado sus indicadores de salud. Pensemos, por ejemplo, en los sesenta países que en 1980 tenían una renta per cápita inferior a los 2.000 dólares. En estos países, la esperanza de vida ha aumentado catorce años en las tres últimas décadas. Además, las mejoras en el estado de la salud han estado fuertemente asociadas con el crecimiento experimentado en el ingreso medio de estas poblaciones. El análisis económico nos dice que un repunte del 10 por ciento en la renta per cápita está asociado con una mejora de 0,3 años en la esperanza de vida.

Si uno evalúa las principales amenazas para la salud en los países pobres, es fácil comprobar que no se deben principalmente al cambio climático, sino que se explican principalmente por la incidencia del sida. En países como Zimbabue, Botswana, Zambia o Sudáfrica, las mejoras generalizadas en la salud no se han traducido en ganancias mayores en el indicador nacional de esperanza de vida debido a la epidemia del VIH, que ha llegado a provocar una reducción de veinte años en la esperanza de vida de las regiones más golpeadas.[72]

Los riesgos para la salud derivados del cambio climático aparecen recogidos en la tabla 3 y se pueden evaluar en el contexto de las mejoras de salud generales en los países en desarrollo. Tomemos como ejemplo el África subsahariana. Para esta región, la esperanza de vida ha aumentado aproximadamente diez años en las cuatro últimas décadas. Las pérdidas de salud que plantea la tabla 3 hablan de alrededor de un año de esperanza de vida por persona, en un estudio planteado para 2050. Esto implica que los riesgos para la salud derivados del cambio climático son equivalentes a una pérdida en mejoras de salud de aproximadamente cuatro años, siguiendo las tasas históricas. En otras regiones, se estima que las pérdidas son mucho más pequeñas.[73] Además, como comento en la siguiente sección, muchos de estos análisis de impacto en la salud parten de suposiciones poco realistas que, probablemente, son exageradas.

Factores de adaptación y mitigación

Es probable que las cifras recogidas en la tabla 3 sobreestimen el impacto en la salud, porque no consideran la posibilidad de que surjan mejoras tecnológicas en el ámbito sanitario al calor del aumento continuado de los ingresos. Por tanto, se trata de un escenario en el que las adaptaciones son mínimas. Sin embargo, es altamente probable que el ser humano desarrolle innovaciones que le permitan gestionar el aumento de las temperaturas de forma satisfactoria. Un ejemplo lo tenemos en las zonas cálidas de los países ricos, donde el uso de aire acondicionado está muy generalizado.

Al mismo tiempo, esas soluciones entrañan algunos riesgos. En la India, un mayor uso del aire acondicionado acarrea una mayor demanda eléctrica, con lo cual se presiona al alza el total de emisiones de CO_2 a la atmósfera. Esta mayor demanda de energía es un factor clave para la aceleración del calentamiento. Pero, aunque ésa es la parte negativa, no podemos olvidar que el aire acondicionado promueve la buena salud humana, en la medida en que enfría los hogares de personas residentes en regiones cálidas como India o China, que están creciendo a una gran velocidad.

El análisis de la OMS no asume ninguna adaptación al estrés por calor. De manera similar, estudia por ejemplo el potencial de propagación de la malaria sin considerar que un ingreso más alto permite desbloquear maneras efectivas de contener el avance de dicha enfermedad. Otro punto discutible del informe es el relacionado con la malnutrición. Dicho asunto se analiza con estimaciones de precios agrícolas que no van en la línea de lo discutido en el capítulo 7.

Hay más aspectos cuestionables en el trabajo de la OMS. Por ejemplo, no tiene en cuenta las importantes mejoras en la salud y la esperanza de vida que vienen produciéndose en los últimos años y que seguirán dándose en el futuro en un contexto de crecimiento económico sostenido.

Como vimos en la sección anterior, existe una fuerte relación entre los ingresos y la esperanza de vida. Un mundo más rico es un mundo más sano. Con ingresos más altos, los países mejoran sus servicios de sanidad pública y se dotan de otras infraestructuras que contribuyen a mejorar la salud de las familias. Una mayor renta permite pagar más a médicos y enfermeras, del mismo modo que también ayuda a invertir en nuevas clínicas y hospitales. Todo esto contribuye decisivamente a una mejor salud y, no lo olvidemos, esa mejor salud redunda también en un mayor crecimiento, de modo que estamos ante un círculo virtuoso.

Esta relación queda meridianamente clara en la tabla 3, que plantea impactos sobre la salud en dos tipos de países muy distintos. La mitad inferior muestra que las pérdidas de salud producidas por el cambio climático en África suponen el 3 por ciento de todas las pérdidas medidas en DALY. Por el contrario, ese mismo indicador alcanza un porcentaje residual en los países de ingreso alto. De igual modo, los impactos son

mucho menores en los países de ingreso medio que en las naciones africanas recogidas en la tabla 3. Y es que, en la medida en que los países pobres crecen rápidamente, el impacto del cambio climático sobre la salud se aminora.

Pero, ¿podemos decir que los países pobres van a crecer lo suficientemente rápido como para superar los efectos adversos que tiene el cambio climático en la salud? No podemos responder con total seguridad, pero este supuesto parece más que razonable y debe ser una hipótesis lógica en las proyecciones del impacto del cambio climático.

El promedio de los modelos de evaluación integrados proyecta que el PIB per cápita de la India crecerá un 40 por ciento en el siglo XXI. A finales del próximo siglo, se espera que las regiones de bajos ingresos tengan un nivel de ingresos cercano a los umbrales que hoy vemos en los países de renta alta.

Dado que este punto es relevante, conviene analizar en detalle el caso de las enfermedades diarreicas, que representan casi la mitad del impacto en la salud del cambio climático planteado para África. El estudio parte de que la clave es reducir la incidencia de estos males en países con una renta anual per cápita de menos de 6.000 dólares. Si combinamos estos datos con el modelo DICE y sus estimaciones para la región, vemos que el 90 por ciento de los habitantes del continente negro estaban en esta situación en el año 2000, mientras que a finales del siglo XXI se espera que menos del 10 por ciento de la población africana se sitúe por debajo de los 6.000 dólares de ingreso anual.[74]

Si bien hablamos sólo de estimaciones, lo cierto es que estos cálculos son consistentes con los supuestos analizados en el modelo de evaluación integrada que se emplea de forma generalizada a la hora de predecir los aumentos de temperatura. Por lo tanto, las estimaciones referidas al aumento de la malnutrición o de las enfermedades ligadas al clima se caen cuando asumimos el efecto de un aumento de los ingresos para el conjunto de la población mundial.

La incidencia proyectada en el estudio de la malaria nos da otro ejemplo del sesgo pesimista que contienen los cálculos de la OMS. El *IV Informe de Evaluación* del IPCC establece que en 2100 la exposición a la malaria habrá

subido del 16 al 28 por ciento.[75] Estas estimaciones son ligeramente superiores a las que vienen recogidas en la tabla 3. Sin embargo, hablamos una vez más de un cálculo que no incluye adaptación socioeconómica alguna durante los años que están por venir.

Esta suposición es contraria a la opinión imperante entre los investigadores especializados en el campo de la salud pública. Según ellos, la pobreza es un factor que contribuye de manera muy importante a la incidencia de la malaria. Con ingresos más altos, las personas tienden a mudarse de las áreas rurales a las ciudades. Los ingresos más altos también permiten a las personas pagar por mosquiteras, acceder a insecticidas, recibir tratamiento para enfermedades renales, hacerse con medicamentos antipalúdicos...[76]

Además, las proyecciones de la OMS se caerían de golpe si durante los próximos ochenta años apareciese una vacuna o un tratamiento capaz de erradicar o contener la malaria. Podemos ser escépticos sobre la viabilidad de innovaciones más incipientes, como la patente de Bill Gates para aminorar la intensidad de los huracanes comentada en el capítulo 6. Sin embargo, el propio Gates financia un efectivo programa de erradicación de la malaria que está teniendo resultados muy positivos.

Todos estos ejemplos nos recuerdan que es probable que muchos de los impactos más graves que se anuncian al estudiar la incidencia del cambio climático en la salud sean, en realidad, aspectos manejables y administrables por un mundo cada vez más próspero e innovador. Las limitaciones de proyecciones como las de los informes de la OMS y el IPCC resaltan la importancia de evaluar estos impactos en el contexto de una economía más moderna y avanzada, en vez de simplemente ceñirnos a medir el impacto que tendría el cambio climático de «mañana» en la economía de «hoy».

Además, esta discusión ilustra un punto más general sobre el papel que desempeñan los sistemas administrados y gestionados por el ser humano cuando se tienen en cuenta los impactos del cambio climático. El cuidado de la salud es un sistema gestionado de forma efectiva y activa.

En el caso de la malaria y otras enfermedades que podrían agravarse por el cambio climático, es normal pensar que los gobiernos sabrán tomar medidas para reducir posibles vulnerabilidades. Esto puede hacerse a través de la investigación, de medidas preventivas y de programas de tratamiento. Un análisis así es consistente con las tendencias observadas en la incidencia de malaria en la última década. Según la OMS, las muertes ligadas a esta causa han bajado un 33 por ciento entre los años 2000 y 2010.[77]

A modo de conclusión, podemos decir que el análisis del efecto del calentamiento global en la salud arroja un escenario parecido al estudio de la relación entre cambio climático y agricultura. Al mirar hacia delante, es fundamental recordar que las sociedades humanas dedican cada vez más recursos a mejorar su calidad de vida y aislar las relaciones humanas y las propiedades físicas de las condiciones medioambientales adversas.

Dicha tendencia se acentúa conforme aumentan nuestros ingresos. Las viviendas están mejor adaptadas al frío y el calor. Los sistemas de alerta ayudan a lidiar con las tormentas. La sanidad ofrece más y mejores médicos, cuya capacitación no para de avanzar. No está garantizado que todo esto se siga produciendo, pero sí es razonable pensar que ése va a ser el caso, sobre todo a tenor de las proyecciones de crecimiento progresivo de la economía mundial.

Por tanto, aunque sería imprudente descartar cualquier impacto del cambio climático en la salud humana, también es justo reconocer que el grado de vulnerabilidad es cada vez menor, conforme las economías de mercado ganan terreno y mejoran las condiciones de vida que ofrecen a sus ciudadanos. Esta situación es muy diferente a la que nos encontramos en los sistemas no administrados, de los que versa el capítulo 9.

9

La situación de los océanos

En los dos capítulos anteriores nos hemos referido a la agricultura y la salud, dos campos en los que el papel del ser humano como gestor es significativo. Si bien los impactos del calentamiento global en estas dos áreas pueden ser desfavorables, especialmente en caso de un manejo equivocado, lo cierto es que los riesgos se enmarcan dentro del rango de las crisis económicas que hemos conocido en épocas anteriores. Cierto es que podríamos completar el estudio de estos temas hablando también de seguridad nacional, bosques, pesquerías, etc. Sin embargo, el grueso de las implicaciones ha sido evaluado, concluyendo que las consecuencias del cambio climático en estos ámbitos son manejables.

Sin embargo, las preocupaciones son mayores en otros campos que están al margen de la intensa gestión humana que sí se da en la agricultura o la salud. Los siguientes capítulos abordan esos miedos, pulsando el impacto que puede tener el calentamiento global debido a retos como el aumento del nivel del mar, la acidificación de los océanos, la intensificación de los huracanes y la pérdida de ecosistemas. Junto con los puntos de inflexión discutidos en capítulos anteriores, estos cuatro temas son de vital importancia para entender los retos que entraña el calentamiento global esperado para las décadas que están por venir. Hablamos, de hecho, de cuestiones que se ven afectadas por fuerzas difíciles de manejar. Además, estamos ante cambios cuyo impacto dañino es potencialmente muy elevado, de modo que hay un margen mucho más reducido para la adaptación.

El aumento del nivel del mar como reto de largo plazo

Para empezar a analizar estas cuestiones, podemos fijarnos en el aumento del nivel del mar (ANM), que constituye un reto para el medio y largo plazo. Uno de los desafíos que enfrentan los políticos a la hora de abordar esta cuestión es que hablamos de un cambio que se produce en el más largo plazo. Mientras que los cambios adversos en la agricultura o la salud podrán observarse en cuestión de décadas, el ANM se desarrollará durante siglos, de forma lenta, debido a la inercia térmica de los océanos y el lento proceso de derretimiento en las gigantescas capas de hielo de los polos. Ese calendario tan dilatado supone que es complejo visualizar el paisaje y la sociedad que podemos encontrarnos en un futuro con unos mares mucho más altos. De manera que tenemos que partir de que es complejo pedir medidas hoy, puesto que el ciclo político es corto y el fenómeno que analizamos se dará con el paso de mucho tiempo.

El problema del telescopio difuso

Cuando era niño, me encantaban los telescopios de alta potencia. Una vez compré uno barato que, no obstante, decía tener cierto alcance. A la hora de la verdad, me llevé una decepción. Mi objetivo era ver Sandia Peak y, aunque sí lograba visualizar parte de la cumbre, la imagen era borrosa y estaba distorsionada. Era un telescopio difuso.

Ese mismo problema es el que tenemos a la hora de analizar hoy cuestiones que van a suceder en el más largo plazo. Cuanto más miramos hacia el futuro para plantear cálculos económicos, sociales y políticos, más borroso e incierto nos resulta todo. Por tanto, antes de empezar a comentar el reto que entraña el ANM, hay que detenerse a considerar también lo complicado que es el análisis a uno o dos siglos vista.

Debemos ser humildes. El problema del telescopio difuso implica que hay graves dificultades que complican el análisis del impacto futuro del cambio climático, puesto que las sociedades humanas de hoy no son las mismas que tendremos dentro de décadas e incluso siglos.

Para comprender la dificultad de esta tarea, imagine su ciudad natal alrededor del año 1910 y piense en todos los cambios que ésta ha vivido desde entonces. En mi caso, el ejercicio tengo que hacerlo con

Alburquerque como referencia. Por aquel entonces, la localidad de Nuevo México acababa de recibir la llegada de su primer ferrocarril. El sueldo medio era de 19 céntimos de dólar por hora. En Estados Unidos no había ningún Banco Central, no se cobraba el Impuesto sobre la Renta, no había aviones, el dispositivo de computación más sofisticado era una calculadora... Todo eso ha cambiado de forma acelerada. Pensemos, por ejemplo, en la calculadora Monroe, todo un adelanto para los Estados Unidos de la época. Aquella máquina podía hacer tres operaciones por segundo. Hoy, un ordenador de sobremesa es capaz de funcionar mil millones de veces más rápido.

Estudiemos ahora el mapa de 1910. Europa estaba bajo el control de tres regímenes ahora extintos: el Imperio otomano, el Imperio zarista y el Imperio austrohúngaro. Prácticamente todo el continente africano estaba dividido en colonias, la mayoría de ellas bajo el control de Bélgica, Francia, Gran Bretaña y Alemania. El modelo nuclear del átomo aún no había sido descubierto. Los científicos no sabían cómo se transmitían los rasgos de padres a hijos.

Por tanto, si comprobamos los cambios que hemos vivido en un siglo, resulta preocupante e incluso desalentador el hecho de tener que proyectar el impacto que puede tener el calentamiento global en el mundo de 2100 o 2200. En campos donde los modelos se basan en leyes físicas fundamentales, el impacto que estimamos se cumplirá con una probabilidad muy alta.[78] Pero, ¿qué ocurre con los impactos en otras áreas, en sistemas que están sujetos a los continuos cambios que se dan en las estructuras económicas y sociales? Ésa es la difícil pregunta que tenemos que intentar responder; sin embargo, no es nada fácil hacerlo entre tanta incertidumbre. ¿Cómo serán las ciudades del futuro? ¿Cómo será el transporte de bienes y personas? ¿Qué alimentos comeremos? ¿Qué armas diabólicas están por nacer? ¿Qué papel desempeñarán las máquinas y los robots en nuestro día a día?

El caso de la «migración ambiental»

El desafío de proyectar impactos en un mundo muy diferente se puede ilustrar con el estudio de la «migración ambiental», cuestión que ocupa un lugar significativo en trabajos y coloquios sobre el cambio climático. Un informe muy influyente afirma que «a menos que se tomen medidas preventivas firmes entre el presente y el año 2050, el cambio climático elevará el número de personas desplazadas en todo el mundo. Habrá, por lo menos, 1.000 millones de personas en esta situación».[79] Otro informe igualmente influyente declara que «más pobreza implica más migraciones, lo cual tiende a aumentar el desempleo en los países receptores y también genera el caldo de cultivo propicio para que cale el extremismo, el radicalismo e incluso el terrorismo».[80]

En realidad, no sabemos prácticamente nada sobre el impacto del calentamiento global en las futuras migraciones humanas. Pensemos en la enorme cantidad de cuestiones que tendríamos que conocer para proyectar cuál será la evolución de la migración internacional en el próximo siglo. De entrada, necesitaríamos conocer las fronteras nacionales, puesto que éstas se han alterado notablemente a lo largo de la historia y nada nos asegura que esto no siga ocurriendo, sobre todo a raíz de las tensiones territoriales que se siguen produciendo en distintas latitudes. En segundo lugar, deberíamos conocer los datos de población y renta de los países más grandes del mundo. ¿Qué evolución seguirán Estados Unidos o la Unión Europea? En el Viejo Continente hay dudas sobre el envejecimiento y, en el ámbito económico, hay quienes auguran el fin eventual de la eurozona. Pero estas preguntas también afectan a las grandes naciones de otras regiones, como África. ¿Cuál será su estructura política y económica dentro de cien años?

Las preguntas que necesitarían respuesta apenas comienzan aquí. Los costes de transporte, ¿van a abaratarse? Los medios empleados para transportarnos, ¿van a simplificarse o modernizarse? Por otro lado, ¿qué puede suponer la realidad virtual? ¿Acaso tiene sentido la migración física cuando podemos trasladarnos de forma simulada a otros entornos y realizar así los cometidos económicos que, a priori, justifican nuestro movimiento transfronterizo?

Y la cosa no acaba ahí. Deberíamos también adivinar cuáles van a ser las políticas futuras en materia de inmigración. ¿Vamos a unas fronteras más o menos porosas que en la actualidad? ¿Qué tipo de identificación personal se exigirá a los viajeros? ¿Habrá más o menos trabas para su traslado? ¿Se implementarán patrullas fronterizas apoyadas en aviones teledirigidos capaces de detectar y reprimir la entrada ilegal de personas?

Quizá podamos intentar responder estas preguntas, pero incluso entonces nuestro trabajo seguiría estando a medio hacer, puesto que sólo estamos intentando aventurar tendencias. No hay que olvidar que las personas migran principalmente para mejorar su situación económica. Por tanto, tendríamos que medir el impacto del calentamiento global en los ingresos futuros de los países e inferir después el impacto de dichos cambios en las tendencias migratorias a nivel global. Esto exige hacer una estimación del impacto del calentamiento global en el mundo, tomando como referencia los ingresos, las fronteras y las tecnologías de hoy. Sin embargo, es probable que estos tres elementos cambien dramáticamente en el próximo siglo, por lo que debemos ser cautelosos a la hora de extraer conclusiones de estos ejercicios.

La «migración ambiental» ejemplifica a la perfección las dificultades inherentes a la tarea de proyectar impactos climáticos. Las sociedades y economías humanas son sistemas altamente gestionados por el hombre. Si el cambio climático aumenta la exposición a las olas de calor o la vulnerabilidad a los mares crecientes, esperaríamos que las sociedades tomasen medidas para reducir las vulnerabilidades, a través del aire acondicionado o de nuevas políticas urbanísticas en zonas costeras. Además, si la mayoría de los países continúan mejorando sus tecnologías y niveles de vida, sería lógico asumir que la mayoría de los países pobres puedan protegerse cada vez mejor contra los extremos climáticos, como hoy hacen Miami o Rotterdam. Si bien ninguna ley de la economía garantiza que las tendencias históricas continuarán, parece probable que los países más pobres sigan el camino de los países más ricos y, por esta vía, mejoren el grado de protección que brindan a sus pueblos y sociedades.

La lección que podemos sacar es que es probable que sobreestimemos los impactos económicos si solamente estimamos los cambios climáticos a partir de las sociedades actuales. Al considerar el impacto del cambio climático esperado para finales del siglo XXI podemos observar dos tendencias principales, incluso a través de nuestro telescopio difuso. Por un lado, que el grueso de los países va a ser más rico en el futuro; por otro lado, que el desarrollo económico permitirá blindar a buena parte de la población ante shocks adversos, lo que aumenta el margen de adaptabilidad al cambio climático que pueden asumir la economía y el Estado moderno. Así pues, la evolución a futuro será, por lo general, favorable.

Aumento del nivel del mar y sistemas costeros

Una de las principales preocupaciones para las próximas décadas y siglos es la del impacto que tendría el ANM en los sistemas costeros y los asentamientos humanos ubicados cerca de la costa. Para hablar de este tema, conviene empezar por los antecedentes y las proyecciones científicas, para luego abordar los posibles impactos.

La evolución del nivel del mar desde la última glaciación ha sido notable. Hace unos 20.000 años la Tierra alcanzó el pico glacial. En ese momento, la temperatura global era entre 4 y 5 grados centígrados más baja que hoy en día, mientras que el nivel de los océanos era unos 120 metros menor. Si estuviésemos en la costa Este de Florida, el océano habría estado más allá del horizonte, a unos 150 kilómetros de distancia.

El aumento del nivel del mar obedece a dos procesos centrales: la expansión térmica y la fusión del hielo terrestre. La expansión térmica se produce porque la densidad del agua cambia con diferentes niveles de temperatura, salinidad y presión. En promedio, a medida que los océanos se calientan, se expanden y elevan el nivel del mar. Todo esto se puede estudiar y modelar con bastante precisión.

Desde la última Edad del Hielo, los océanos han ido subiendo lentamente. Las estimaciones actuales nos dicen que el ritmo de aumento ha sido de 3 milímetros por año. Según las proyecciones de referencia, la

expansión térmica habrá elevado los océanos 0,2 metros a finales del siglo XXI, lo que supone una cierta aceleración frente a los niveles de ANM observados en el siglo XX.[81]

El segundo componente principal del ANM se refiere a la fusión del hielo de los glaciares y las capas de hielo, pero las estimaciones para este punto son mucho más inciertas. Lo que más preocupa a los científicos centrados en este tema es la gran cantidad de agua encerrada en las principales capas de hielo de la Tierra. Si se derrite por completo la capa de hielo de Groenlandia, el nivel del mar aumentaría unos 7 metros. Si sucede lo propio con la capa de hielo de la Antártida Occidental, la subida sería cercana a los 5 metros. No obstante, aunque esta capa tiene un volumen mucho mayor de hielo, su temperatura es tan fría y su conexión a la Tierra es tan fuerte que el riesgo de que esto ocurra parece bajo para los siglos venideros.

El capítulo 5 abordó los procesos y posibles puntos de inflexión asociados con el derretimiento de la capa de hielo de Groenlandia. Modelar el comportamiento de estos casquetes de hielo es extremadamente difícil, según reconocen los especialistas en esta área de investigación. Las estimaciones recientes indican que los glaciares y las capas de hielo que se derriten contribuirán a un aumento de 0,2 metros en el nivel del mar registrado en torno al año 2100. Otras proyecciones que utilizan técnicas estadísticas han llegado a estimaciones más grandes, si bien dichos cálculos no han sido validados por los modelos centrados en analizar el comportamiento de las capas de hielo.[82] Así, el hielo terrestre podría contribuir tanto al ANM como la expansión térmica esperada en los próximos cien años. Sin embargo, tenemos que enfatizar que éste es un campo en el que la investigación científica sigue avanzando con paso lento, de manera que tenemos que estar preparados para conocer sorpresas que, quizá, sean desagradables.[83]

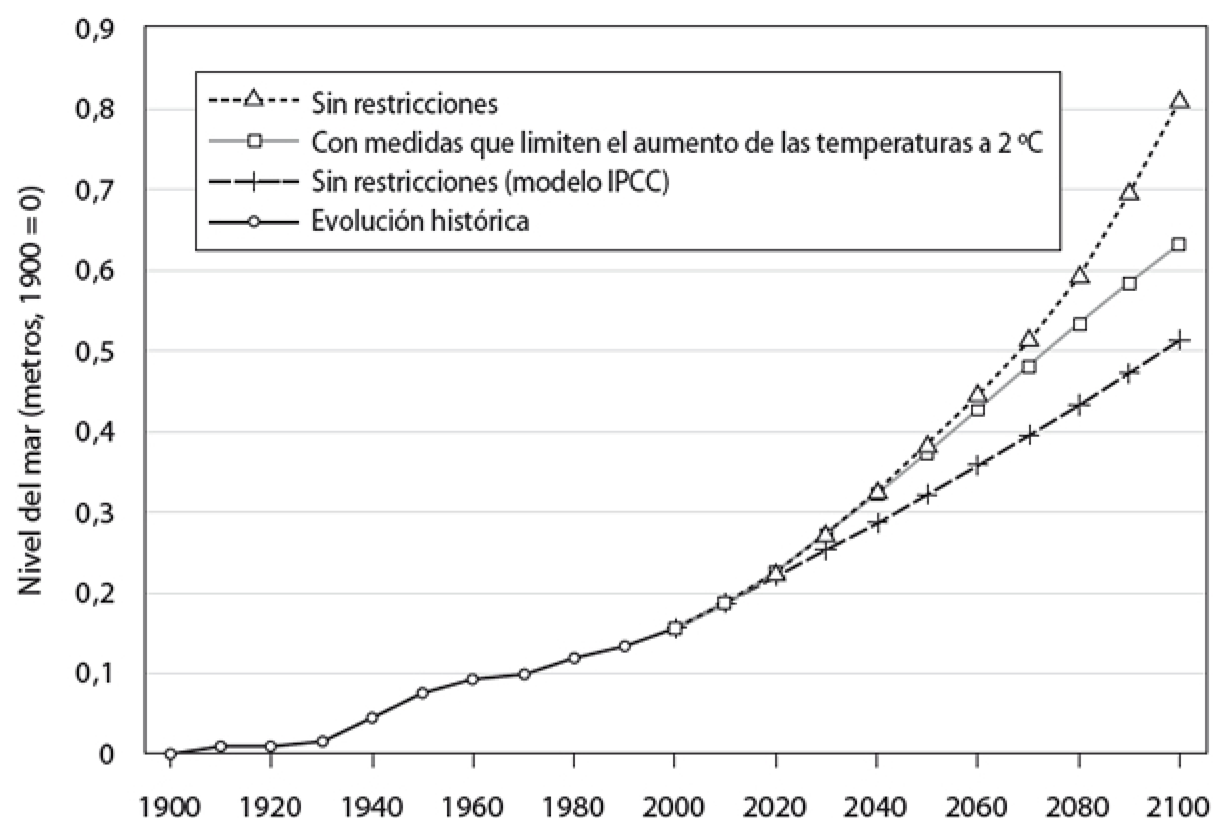
Como he enfatizado anteriormente, un objetivo importante de la investigación climática es integrar las proyecciones económicas y ambientales. Esto se aplica también al ANM. Los escenarios estándar para este fenómeno están desacoplados de la economía, y viceversa. Entonces, ¿qué nos dicen los modelos que integran ambas dimensiones?

Para ilustrar esta pregunta, he recurrido al modelo DICE, que permite realizar proyecciones de los impactos del cambio climático para diferentes escenarios en los próximos siglos. El modelo incluye todas las fuentes que pueden acelerar el ANM, si bien contempla una elevada incertidumbre en lo tocante a las capas de hielo. Hablamos de proyecciones consistentes con los modelos estándar de clima oceánico, pero que además están vinculadas a los modelos económicos y de emisiones contaminantes, de manera que podemos estimar el impacto con mayor certidumbre.[84]

Si queremos tener éxito con este ejercicio, debemos contemplar dos trayectorias diferentes para las emisiones contaminantes. Un primer escenario supondrá el aumento de las emisiones en ausencia de restricciones. Ya hemos discutido este supuesto de partida en capítulos anteriores. En el segundo modelo de ejecución, asumiremos que el aumento de la temperatura global se ve limitado a un aumento de 2 grados centígrados respecto a los niveles observados a comienzos del siglo XX. Esto supondría que se cumple el Acuerdo de Copenhague y se pone cierto coto a las emisiones.

Las figuras 16 y 17 muestran las proyecciones esperadas para el ANM bajo los supuestos explicados anteriormente. En el gráfico de la figura 16 tenemos la historia del nivel del mar en el último siglo y tres supuestos planteados para el siglo XXI.[85] El modelo DICE aplicado a un escenario sin restricciones de las emisiones contaminantes arroja estimaciones más altas que los escenarios comparables ofrecidos por los modelos del IPCC. Esto se debe a que el modelo DICE incluye todas las capas de hielo y emplea parámetros que asumen una mayor sensibilidad ante los aumentos de temperatura. Pero, en cualquier caso, hay que tener en cuenta que los supuestos analizados no tienen importantes diferencias entre sí, lo que confirma la inercia de los sistemas ante este fenómeno.

FIGURA 16 **Evolución del nivel del mar en distintos escenarios climáticos, 1900-2100**

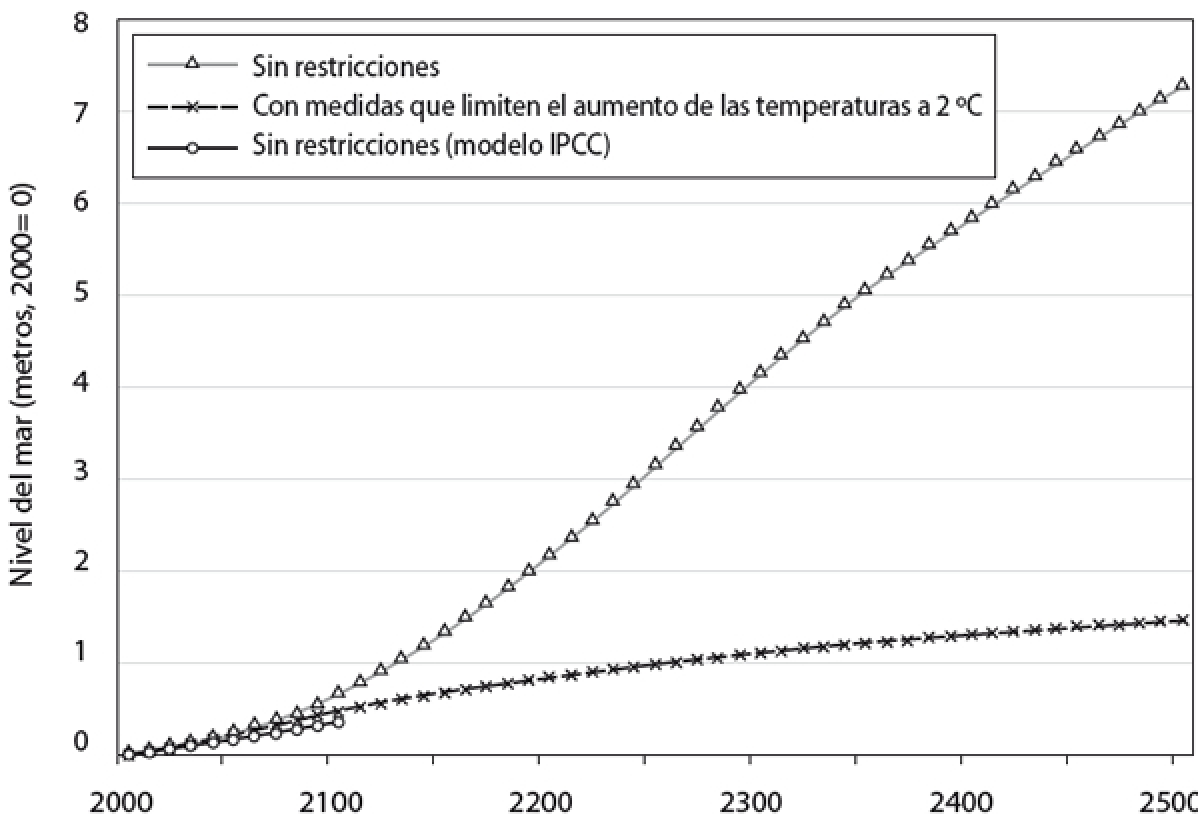


Nota: El gráfico recoge la evolución histórica hasta nuestra época y plantea dos evoluciones futuras, siguiendo el modelo DICE y partiendo de una situación sin control de emisiones y otra con un tope al aumento de las temperaturas equivalente a 2 grados centígrados. Es importante resaltar que, tanto en un supuesto como en otro, el ANM será sustancial.

La figura 17 es más ambiciosa, puesto que pretende realizar proyecciones para los próximos quinientos años. Evidentemente, estos cálculos son aún más inciertos que los de la figura 16, ya que es muy difícil modelar la respuesta de las capas de hielo. Sin embargo, son estimaciones razonablemente consistentes con las estimaciones realizadas a partir del clima actual. Aceptando estos cálculos vemos que, incluso con políticas climáticas extremadamente ambiciosas, el ANM será muy notable en los siglos venideros. Así, el modelo sugiere que limitar el aumento de las temperaturas a 2 grados centígrados no impide un ANM de 1,5 metros en los cinco próximos siglos. No obstante, la proyección realmente preocupante es la del impacto en un escenario de emisiones no controlado. A lo largo de cinco siglos, esto produciría un ANM de más de 7 metros. Además, motivaría un aumento adicional más allá del período analizado, puesto que la tendencia sería de crecimiento continuado. Este resultado se

da por la combinación de distintos procesos: expansión térmica, fusión sustancial de la capa de hielo de Groenlandia, descarga de la capa de hielo de la Antártida occidental... Si bien estas proyecciones provienen de una plantilla altamente estilizada, que integra distintos modelos de evaluación, hablamos de cálculos consistentes con las proyecciones de estudios de modelización que arrojan un altísimo nivel de detalle.[86]

FIGURA 17 **Proyección de aumento del nivel del mar para 2000-2500**



Nota: El gráfico plantea proyecciones para el próximo medio milenio a partir del modelo DICE. Es importante resaltar que, incluso aplicando políticas que limiten el aumento de las temperaturas, la inercia de la respuesta oceánica permite alumbrar un fuerte ANM.

Impactos

¿Cuáles son los impactos potenciales del ANM para el próximo siglo y etapas posteriores? Sabemos que los océanos han subido y bajado a lo largo de la historia geológica. Cuando los seres humanos llegaron por primera

vez a América, los océanos estaban al menos 90 metros por debajo de los niveles que vemos en la actualidad.

La Edad del Hielo que vivió el continente es un ejemplo de cómo los cambios ambientales pueden inducir comportamientos novedosos. En el último período cálido, cuando las temperaturas globales fueron 1 o 2 grados más cálidas, los océanos alcanzaron aproximadamente 3 metros más de altura. Por otro lado, en épocas anteriores, el nivel del mar fue hasta 180 metros mayor, por ejemplo en la era de los dinosaurios.

Sin embargo, el ritmo que seguirá el ANM a lo largo del siglo venidero y de etapas subsiguientes no tiene precedente en todo el período conocido por las civilizaciones humanas. Las reconstrucciones sugieren que el nivel del océano ha cambiado menos de 1 metro en los últimos 4.000 años. Los expertos están particularmente preocupados por el impacto del aumento del océano cuando interactúa con los ecosistemas costeros. En las siguientes líneas me concentraré en analizar el impacto del ANM desde el punto de vista social.

En este tema, como en tantos otros ligados al calentamiento global, lidiamos con el problema del telescopio difuso, puesto que proyectar impactos se vuelve cada vez más difícil a medida que avanzamos en el futuro. Esto se puede ver de forma dramática en cualquier estudio referido al ANM. A lo largo de la historia reciente hemos visto que una ciudad puede aparecer, crecer y declinar en menos de un siglo. Por tanto, aunque podemos medir fácilmente el impacto del ANM en los asentamientos humanos del presente, no sabemos con claridad qué capacidad de adaptación tienen dichas urbes y, por tanto, no podemos afirmar con seguridad qué incidencia tendrá sobre ellas el fenómeno que nos ocupa.

En consecuencia, parece sensato aproximarse a este tema examinando la vulnerabilidad que tendríamos si el ANM se da con sistemas de vida humana en la costa como los que encontramos en la actualidad. Alrededor del 4 por ciento de la población mundial y de la producción económica se encuentra en regiones ubicadas en la costa, con alturas inferiores a 10 metros sobre el nivel del mar. Ésta es la «zona roja» que más se verá afectada por el ANM, aunque existan áreas cercanas que igualmente pueden sufrir parte de las consecuencias.

Es cierto que la vulnerabilidad ante el ANM no sólo se explica por la altura de cada población. En áreas sujetas a huracanes o tormentas intensas, las inundaciones pueden presentar riesgos adicionales que afectan a zonas algo más elevadas. Pero, por lo general, los asentamientos que se elevan más de 10 metros sobre el nivel del mar están relativamente a salvo ante el fenómeno esperado para los próximos cien o doscientos años.

El impacto de un fuerte aumento en el nivel del mar sería mucho menor si las personas, las empresas y los ecosistemas pudieran migrar libre y fácilmente de una parte del mundo a otra. Así, las personas amenazadas por las inundaciones en Bangladesh podrían mudarse a la India o Tailandia y de este modo seguir sus vidas a salvo. Algo similar ocurriría en Pudong, en el área de Shanghai, distrito ubicado en el delta de un río y cuya población se ha incrementado de 300.000 personas a mediados del siglo XX a más de 5 millones en la actualidad. ¿Qué podrían hacer los habitantes de Pudong ante un fuerte aumento del nivel del mar, teniendo en cuenta por ejemplo que el distrito acoge uno de los edificios más altos del mundo? Quizá podríamos ver un éxodo generalizado hacia zonas más seguras, quizá podríamos ver la construcción de un gran rompeolas que evite los impactos del ANM... Pero la verdad es que no podemos decir qué ocurrirá con certeza.

Anteriormente se puso de manifiesto lo difícil que es proyectar patrones de migración en horizontes de tiempo prolongados. Si apenas consideramos la próxima década, lo normal es que los flujos internacionales sigan como hasta ahora. Sin embargo, si abarcamos un mayor período de tiempo, podríamos ver surgir en zonas costeras una mayor voluntad de trasladarse a otras regiones menos afectadas por el ANM. El problema es que no es tan fácil dar ese paso, puesto que el coste de emigrar es elevado. Así las cosas, un buen ejercicio aproximativo pasa por examinar la distribución de los asentamientos humanos en las «zonas rojas» cuya altura es inferior a 10 metros sobre el nivel del mar. La tabla 4 refleja los países donde el riesgo es mayor.[87]

Dicho cálculo evalúa qué porcentaje de población se ubica en zonas costeras de escasa altitud. En la parte superior de la tabla 4 vemos los diez países que pueden sufrir un mayor impacto debido al ANM. En estos casos, más de la mitad de la población y la producción económica se encuentra en

una «zona roja». Buena parte de estos países son relativamente pequeños, si bien dos de ellos están muy poblados, caso de los Países Bajos y Reino Unido. La parte inferior de la tabla 4 enumera los once países más poblados y muestra la fracción de sus poblaciones, su producción económica y su superficie que está en un área de riesgo. Dejando a Bangladesh a un lado, el porcentaje de la población y de la producción económica que está en riesgo en este grupo de países es inferior al 10 por ciento. Si tomamos los tres países más poblados vemos que entre el 5 y el 10 por ciento de sus habitantes residen en una «zona roja».

La tabla 4 ilustra también las grandes diferencias que existen en los impactos del cambio climático que golpean a las diferentes regiones. Algunos países se verán enormemente afectados por el ANM (caso de Bangladesh, los Países Bajos o las Bahamas), mientras que otros quedarán completamente aislados (caso de Austria, Kazajstán o Bolivia, que no tienen litoral). Esta débil correlación de impactos e ingresos es cierta para otros impactos, como los que afectan a la agricultura, la salud humana, la seguridad nacional y la intensificación de tormentas. Si bien las personas tienden a creer que los países pobres tienen más probabilidades de verse afectados, eso no es exactamente así cuando analizamos el alcance real que puede tener el ANM. Por ejemplo, aunque Canadá no enfrenta una situación compleja, Estados Unidos sí es relativamente vulnerable al aumento del nivel del mar. De igual modo, Bangladesh corre más peligro que Chad. Al final, lo importante es asegurar que analizamos los datos de manera cuidadosa. Si procedemos de este modo podemos comprobar que las regiones de menor altitud respecto al nivel del mar tienden a registrar un ingreso per cápita mayor que el observado en áreas de mayor elevación.[88]

TABLA 4 **Países afectados por el aumento del nivel del mar**

	Porcentaje que está en peligro, 2005			Cifras absolutas, 2005	
País	**Población**	**Producción económica**	**Superficie**	**Población total (en miles de personas)**	**Población en peligro (en miles de personas)**
Países más afectados					
Bahamas	100,0	100,0	100,0	323	323
Maldivas	100,0	100,0	100,0	295	295
Bahréin	91,9	60,3	65,9	725	666
Kiribati	91,8	91,2	9,0	99	91
Países Bajos	74,9	76,9	76,3	16.300	12.200
Tonga	69,0	58,1	17,5	99	69
Gambia	63,2	62,9	30,5	1.620	1.020
Bangladesh	60,1	58,0	50,6	153.000	92.100
Kuwait	48,8	9,5	7,8	2.540	1.240
Guinea-Bissau	48,2	48,2	29,2	1.600	770
Países más poblados					
China	9,0	14,4	1,8	1.300.000	117.000
India	7,3	7,2	2,8	1.100.000	80.100
Estados Unidos	6,1	5,9	2,9	297.000	18.100
Indonesia	2,8	3,6	7,5	221.000	6.270
Brasil	2,9	1,7	1,4	187.000	5.410
Pakistán	6,8	3,5	2,4	156.000	10.500
Bangladesh	60,1	58,0	50,6	153.000	92.100
Rusia	1,8	1,0	2,4	143.000	2.520
Nigeria	3,7	12,9	2,3	141.000	5.170
Japón	0,0	0,0	0,0	128.000	0
México	3,2	2,9	3,3	103.000	3.260

Impacto del ANM sobre el patrimonio de la humanidad

Los habitantes de un área afectada como Pudong podrían mudarse, pero los edificios e instalaciones no tienen esa habilidad. Esto plantea una duda inquietante. ¿Acaso el calentamiento global pone en riesgo una parte significativa de los tesoros culturales y naturales del mundo? Nuestras

sociedades valoran muy especialmente distintas ciudades o regiones: Venecia, el Parque Nacional de Yellowstone... ¿Qué vulnerabilidad presenta el patrimonio de la humanidad ante la amenaza del ANM?

Podemos evaluar esta pregunta gracias al trabajo de la Convención del Patrimonio Mundial de la Unesco, cuyo proceso selecciona de forma rigurosa los principales tesoros conocidos y/o construidos por el hombre. Se trata de sitios definidos por la Unesco como «activos de valor incalculable que son irreemplazables y que, más que pertenecer a una nación, son parte de la humanidad de forma más general». La lista incluye 936 sitios repartidos por 153 países y abarca monumentos religiosos, ecológicos y arquitectónicos.

Esta convención coloca a los sitios protegidos en su lista de peligro si están «amenazados por peligros graves y específicos», tal como se define en la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural.[89] Cuando estaba escribiendo este capítulo, la lista de la Unesco hablaba de 35 sitios en peligro de desaparición.

La revisión cuidadosa de estos 35 lugares muestra que las principales amenazas para la preservación del patrimonio cultural de la humanidad son los conflictos armados, los terremotos y desastres naturales, la contaminación, la caza furtiva, la urbanización descontrolada y el desarrollo turístico sin control. El calentamiento global no se mencionó como un problema para ninguno de los sitios del patrimonio en peligro de extinción, pero esto probablemente refleja una cierta inercia a la hora de establecer prioridades y concretar amenazas.

Por eso, las deliberaciones de la Convención del Patrimonio Mundial están empezando a incorporar estas preocupaciones y han empezado a examinar recientemente el impacto del cambio climático en diferentes conjuntos y espacios monumentales que se pueden ver afectados. El informe realizado al respecto concluye que las ciudades de Londres y Venecia están en peligro. Algo similar arroja el análisis de otros ecosistemas costeros de baja altitud que figuran igualmente en el listado de protección de la Unesco.[90]

Desde un punto de vista económico, el desafío evidente es el de asignar un valor concreto a estos activos tan especiales. El espinoso problema de la valoración viene desarrollado con mayor detalle en el capítulo 11, que versa sobre la conservación de las especies. En cualquier caso, la conclusión de la discusión detallada en esa sección del libro puede adelantarse aquí y subraya que es extremadamente desafiante valorar las pérdidas económicas derivadas de la eventual destrucción de estos espacios. No obstante, es importante establecer un cálculo que sirva para sopesar costes y beneficios, como manda la disciplina económica.

El aumento del nivel del mar puede resultar en impactos muy preocupantes, sobre todo porque es difícil detenerlo una vez que está en marcha. Los costes económicos encontrados por la mayoría de estudios realizados al respecto son relativamente modestos en relación con la producción económica global.[91] No obstante, si bien las pérdidas económicas pueden ser pequeñas a escala mundial, algunas de las áreas amenazadas se encuentran entre las partes más preciosas de nuestro patrimonio natural y humano. Por lo tanto, las pérdidas que motivaría el ANM no pueden descartarse como si fuesen una merma cualquiera.

Aunque es difícil detener el ANM, las sociedades pueden tomar medidas para reducir sus daños. A grandes rasgos, podemos decir que hay que elegir primero entre «retirarse» o «defenderse». Si optamos por lo segundo, lo evidente sería construir diques y muros marinos que ayuden a contener el agua y protejan las estructuras y los asentamientos existentes. Los Países Bajos han seguido este camino desde hace siglos. En zonas densamente pobladas o de alto valor, caso de las provincias holandesas o de la isla neoyorquina de Manhattan, este enfoque parece sensato. En otros supuestos, la estrategia de retirada parece más recomendable para el largo plazo.

La mejor respuesta económica para enfrentar el aumento del nivel del mar ha sido planteada en una serie de estudios realizados por el economista Gary Yohe. Sus cálculos son prudentes y no pecan de pesimismo y alarmismo.[92] Yohe entiende que los sistemas naturales se han adaptado a lo largo del tiempo a grandes cambios en el nivel del mar, que por lo general fueron mayores que los proyectados para las próximas décadas y siglos. Es

cierto que la línea costera puede modificarse y ésa no es una buena noticia para los dueños de propiedades que terminarán viendo sus activos arrasados. Sin embargo, a lo largo de las décadas, los procesos naturales ayudarán a adaptar las playas, estanques y dunas para proteger de forma general los sistemas desarrollados en tierra firme. De nuevo, la migración emerge como fórmula para solucionar una crisis climática, aunque esta vez no hablamos de migraciones humanas o económicas, sino de movimientos en la arena y los ecosistemas costeros.

Acidificación oceánica

Uno de los temas más preocupantes es que los problemas más alarmantes tienen lugar en sistemas no gestionados ni administrados, es decir, en sistemas que no son manejables por el hombre. Desde una perspectiva ecológica, los humanos están gestionando cada vez más su entorno. En los últimos milenios, hemos limpiado campos y bosques, nos hemos mudado de cuevas a casas, hemos centralizado el intercambio de bienes en los mercados, hemos desarrollado tecnologías para controlar el clima de los hogares o las fábricas... Pero algunas áreas son difíciles o imposibles de gestionar.

Según la leyenda, el rey Canuto descubrió que las mareas no obedecían su orden de detenerse. En la era moderna, podemos construir diques y barreras marinas, pero el océano continuará creciendo a su alrededor. Veremos problemas similares ligados a la acidificación, los huracanes, la pérdida de especies... De esto versan las siguientes páginas y los dos siguientes capítulos.

En todas estas consecuencias no intencionadas de la actividad humana podemos aplicar el lamento del rey Canuto: «Que todos los hombres sepan cuán vacío y carente de valor es el poder de los reyes, puesto que no hay otro digno de ese nombre sino Dios, cuyas leyes eternas son obedecidas por cielo, mar y tierra». Éste será el grito de las generaciones futuras si no tomamos medidas enérgicas que permitan revertir la evolución creciente del CO_2 y otros gases de efecto invernadero.

Carbonización y acidificación

Otra consecuencia de difícil gestión que está ligada al aumento de las concentraciones de CO_2 es la carbonización y acidificación de los océanos. En este caso, el problema no se debe principalmente al calentamiento inducido en gran medida por el carbono, sino al propio carbono en sí. Las crecientes concentraciones de CO_2 en la atmósfera se mezclan rápidamente en la capa superior de los océanos y, aunque el paso del carbono al océano reduce la concentración de GEI en la atmósfera, este paso también provoca cambios en la química oceánica.

La química es relativamente sencilla. Cuando el CO_2 se disuelve en los océanos, los hace más ácidos y con ello disminuyen las concentraciones de carbonato de calcio. Muchos organismos marinos forman conchas de carbonato de calcio, incluidos los corales, moluscos, crustáceos y algunos tipos de plancton.[93] Debido a que el cambio climático y la acidificación de los océanos son causados por el aumento del CO_2 en la atmósfera, a veces se habla de este tema como «el otro problema del CO_2».

La acidificación del océano tiene varias características importantes. Primero, depende principalmente del ciclo del carbono y no tiene las incertidumbres asociadas con los modelos climáticos. Ya sea porque la química es difícil de desafiar, o porque la tendencia es clara, existe poca controversia sobre la acidificación del océano. Todavía no he leído que la acidificación del océano sea un engaño. Por mucho escepticismo que generen algunos de los temas del calentamiento global, aquí la cosa es distinta.

El fenómeno ha sido reconocido de forma generalizada recientemente. Las primeras publicaciones importantes han aparecido en la última década.[94] De hecho, los problemas biológicos de la acidificación ni siquiera estaban incluidos en el *III Informe de Evaluación* del IPCC. Ésta es, por tanto, una de esas «sorpresas» que pueden aparecer con el paso de los años y que no son necesariamente positivas.

Además, las principales predicciones de la hipótesis de acidificación del océano se han confirmado mediante estudios realizados en los océanos del mundo. Por eso sabemos que hay una estrecha relación entre las

concentraciones de CO_2 en la atmósfera y el océano y la caída del pH (aumento de la acidez) en los océanos.[95]

Los científicos especializados en el mar están empezando a considerar las consecuencias de la acidificación en los organismos y ecosistemas oceánicos. El capítulo 5 planteaba la advertencia de los biólogos marinos sobre el declive catastrófico que están experimentando los corales y que probablemente será irreversible si las concentraciones de CO_2 continúan su tendencia actual durante dos o tres décadas.

Los experimentos de campo indican un conjunto complejo de respuestas a la acidificación del océano. En muchos de los organismos estudiados (particularmente en los corales y moluscos), la tasa de calcificación y reproducción disminuye con concentraciones más altas de CO_2, y esto es especialmente pronunciado en latitudes elevadas. Estos cambios conducirán a una importante redistribución de especies.

Hay evidencia de un fuerte aumento en el CO_2 del océano durante un episodio conocido como el Máximo Térmico del Paleoceno-Eoceno, ocurrido hace 55 millones de años. Según los datos de episodios anteriores de aumento de CO_2, como el que acabamos de mencionar, parece que la mayoría de las especies logran sobrevivir, aunque sí que es cierto que la subida en la concentración de CO_2 provoca la extinción de algunas especies.

Los impactos sobre los humanos y la economía son más fáciles de ver en el caso de los caladeros de pesca. Las especies con mayor probabilidad de ser dañadas son las ostras, los corales, el plancton y los mariscos. No está clara la magnitud de las pérdidas y el grado en que las pérdidas para el consumo humano podrían ser reemplazadas mediante piscifactorías u otros mecanismos o alimentos. Algunos estudios han encontrado que la tasa de mortalidad de los peces se incrementa dramáticamente a medida que las concentraciones de CO_2 aumentan por encima de los tres niveles actuales.[96]

La acidificación del océano es una de las consecuencias más preocupantes de la acumulación de CO_2. Es un ejemplo extremo de lo que puede suceder en un sistema inmanejable para el hombre. Hasta el año 2100 es probable que los humanos agreguen entre 3.000 y 4.000 millones de

toneladas de CO_2 a la capa superior de los océanos. No hay soluciones tecnológicas fáciles para solventar este problema. Más adelante veremos que las opciones que nos da la geoingeniería para luchar con el problema del cambio climático pueden retardar el calentamiento, pero no harán mucho a la hora de evitar la acidificación del océano.

Además, si bien es tranquilizador que la Tierra haya experimentado previamente picos en las concentraciones de CO_2 que tuvieron dimensiones similares a las que está provocando hoy la actividad humana, tampoco podemos ignorar que la distribución de las especies en períodos anteriores era diferente. Debido a que los océanos son tan complejos, ni siquiera los científicos más talentosos pueden anticipar claramente los impactos que va a provocar la acidificación oceánica.

10

Intensificación de los huracanes

Una buena forma de entender el «casino del clima» en el que estamos «jugando» es el análisis del impacto del calentamiento en las tormentas tropicales. Cuando comienzan a formarse, no sabemos qué intensidad pueden cobrar, dónde van a desencadenarse, cuántos daños van a causar... Por tanto, partiendo de que esa incertidumbre ya existe, cabe analizar hasta qué punto el calentamiento global intensificará y alterará los huracanes en las próximas décadas, para así conocer cuánto daño causarán estos cambios.

No podemos capturar en un vídeo el ANM, puesto que la subida es imperceptible salvo que mostremos de forma acelerada una serie temporal de imágenes tomadas a lo largo de uno o varios siglos. Sin embargo, los huracanes sí son algo que podemos visualizar con claridad. Se trata de eventos concretos, rápidos, localizados y dramáticos, que recorren ciudades y entierran casas bajo un manto de agua. En Estados Unidos existen programas específicos de televisión dedicados a esta temática. Dudo mucho que haya mercado para hacer lo mismo con el nivel del mar...

He sido testigo de un huracán tras otro cerca de mi casa. Algunas personas recuerdan el gran huracán que vivió Nueva Inglaterra en 1938. Durante aquel fenómeno, la comunidad de Napatree Point, ubicada en el suroeste de Rhode Island, fue borrada de la faz de la tierra mientras la tormenta arrasaba la zona. La supertormenta Sandy, que tuvo lugar en 2012, golpeó duramente el área de Nueva York y causó al menos 75.000 millones de dólares en daños.

Los huracanes son un problema particularmente espinoso, porque son un sistema inmanejable para el hombre que, además, se ve claramente afectado por el calentamiento global. Los huracanes difieren del aumento

del nivel del mar y la acidificación de los océanos en la medida en que son eventos extremadamente locales y altamente diferenciados en su impacto.

El efecto del calentamiento global en los huracanes

«Huracán» es el nombre que recibe la versión del Atlántico Norte de un fenómeno natural originalmente conocido como «ciclón tropical». Si los vientos sostenidos de una tormenta tropical desarrollada en el Atlántico Norte alcanzan los 120 kilómetros por hora, dejamos de hablar de tormenta y podemos clasificar el fenómeno como un huracán.[97]

Podría decirse que los huracanes son unos motores enormes que utilizan la mayor temperatura de las aguas cálidas para «alimentar» vientos agitados. Esta dinámica se va reforzando a sí misma: unos vientos más fuertes generan presiones más bajas, lo que aumenta la evaporación y la condensación, motivando vientos aún más fuertes.

El principal factor generador de huracanes es el agua caliente de la superficie de los océanos. Cuando su temperatura llega al menos a los 26,5 grados centígrados, el fenómeno puede empezar a desarrollarse. La extensión del área de agua caliente aumenta a medida que la tierra se calienta, de modo que esto incrementará la extensión del área en que se desarrollan los huracanes, haciéndolos más intensos en última instancia.

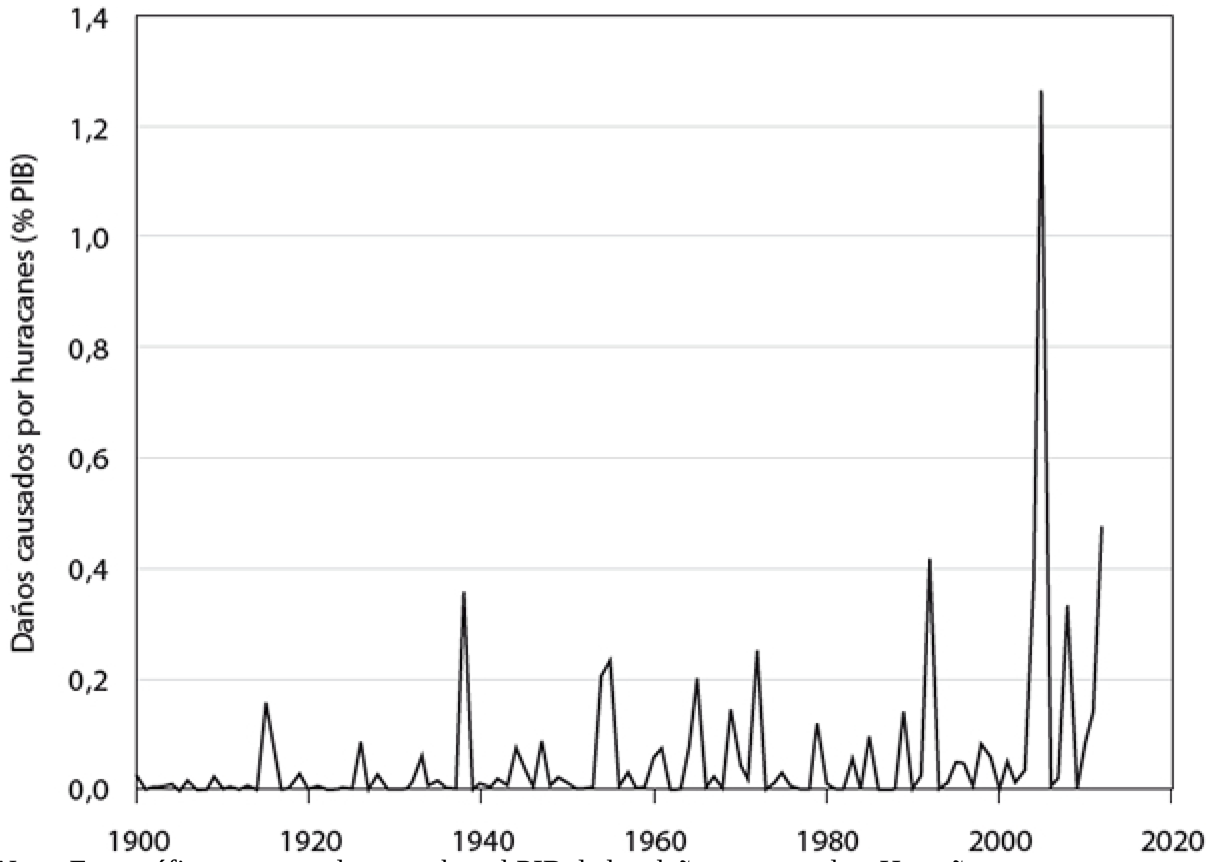
Podemos usar datos básicos de física y cifras correspondientes a los registros históricos para estimar los impactos que puede tener el calentamiento global en los huracanes. Los números disponibles para Estados Unidos son muy completos, de modo que los he tomado como referencia y he recopilado información sobre las características y los daños económicos provocados por los 234 huracanes que tocaron tierra en mi país entre los años 1900 y 2012. Hablamos, pues, de una base estadística que abarca 30 tormentas hasta 1933 y todos los huracanes registrados desde entonces. La figura 18 muestra la tendencia en daños provocados por los huracanes, midiendo dicho indicador en cifras anuales y ajustadas al PIB de cada año.[98] Este cálculo permite constatar que, durante el período

estudiado, los huracanes causaron daños equivalentes al 0,05 por ciento del PIB anual, con un pico del 1,3 por ciento en 2005, debido al huracán Katrina.

Una característica interesante que arrojan los datos es que, a diferencia de muchos otros impactos ambientales, los daños causados por huracanes parecen tener una tendencia al alza en relación con el conjunto de la economía. El análisis estadístico indica que, después de corregir el número de tormentas y su intensidad, los daños causados aumentaron anualmente un 2 por ciento más que el ritmo de crecimiento del PIB. La razón de esta mayor vulnerabilidad no se ha explicado completamente aunque, sin duda, algo tiene que ver el hecho de que miles de millones de personas opten por vivir en zonas costeras (un delito del que, sin duda, me declaro culpable...).

El efecto del calentamiento global en los ciclones tropicales ha sido estudiado cuidadosamente, y la física básica es muy clara. El calentamiento global puede afectar a varias dimensiones de los huracanes, incluida la frecuencia, el tamaño, la intensidad, la duración y la distribución geográfica. De estos cinco aspectos, el vínculo más claro es el de la intensidad. A medida que aumenta la temperatura de la superficie del mar, aumenta también la «intensidad potencial» o el límite superior de la velocidad del viento, siempre y cuando se mantengan constantes los demás factores. Los cálculos recientes sugieren que un calentamiento de 4 grados centígrados aumenta una categoría la intensidad del huracán. Así, pasar de la categoría 2 a la 3 supone aproximadamente una intensificación equivalente a 25 kilómetros por hora.

FIGURA 18 **Costes generados por los huracanes que han afectado a Estados Unidos entre 1900 y 2012**



Nota: Este gráfico muestra el peso sobre el PIB de los daños provocados. Hay años en que se observan fuertes aumentos y otros en que no se dan fenómenos de este tipo.

Otra pregunta que cabe hacerse es si es probable que aumente la frecuencia o la intensidad de tormentas extremas, como los tornados o las tormentas eléctricas. Las respuestas para este tipo de cuestiones son menos claras que para los huracanes, de modo que la ciencia no ha podido llegar a conclusiones más o menos aceptadas de forma clara y general. Sí es cierto que quizá hay más científicos climáticos convencidos de que la intensidad de estos fenómenos crecerá igualmente, pero sigue siendo una pregunta abierta a la que se están dedicando cada vez más investigaciones.

Análisis de impacto

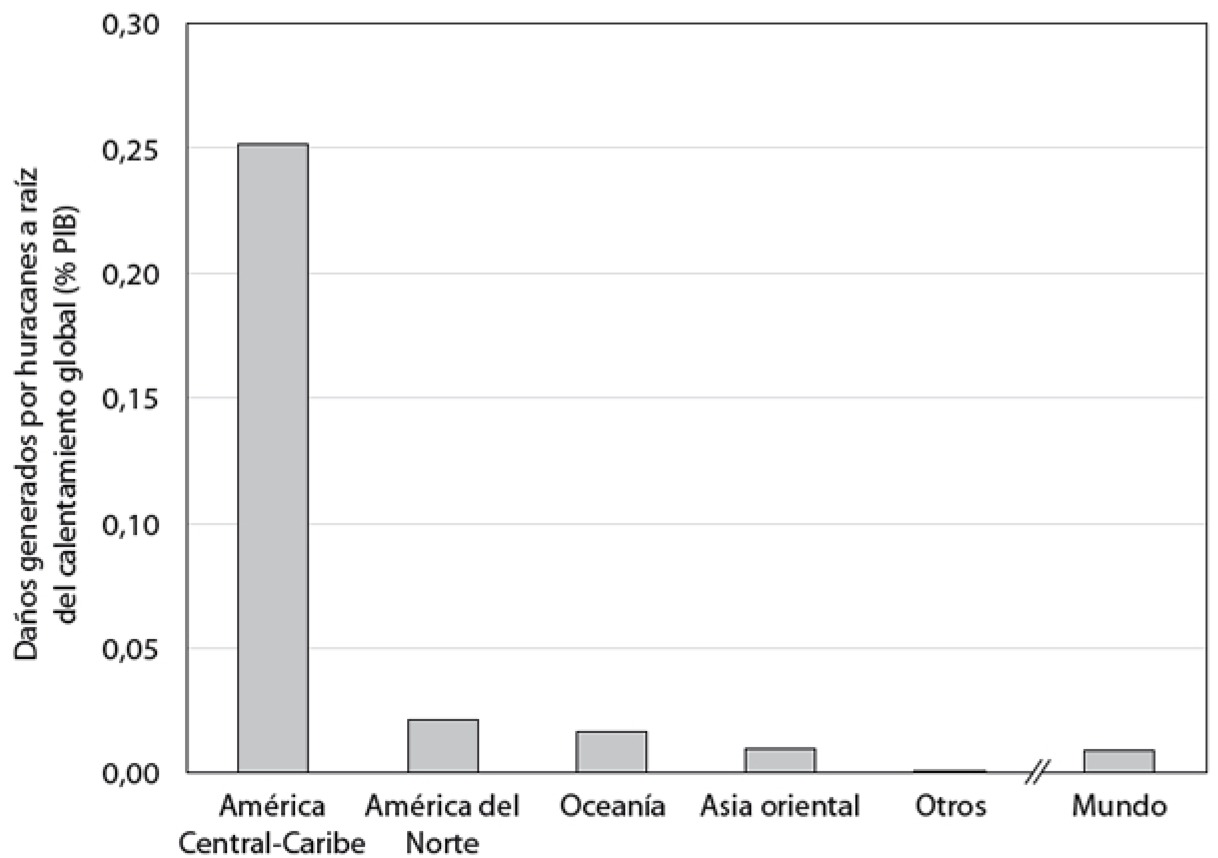
Se han realizado varias evaluaciones del impacto que tendría el calentamiento global en los huracanes. Al igual que con el aumento del nivel del mar, los efectos físicos pueden estimarse utilizando modelos, pero

los impactos socioeconómicos dependerán de cómo los humanos se adapten al aumento en la intensidad de las tormentas y al ya citado ANM.

Mis cálculos arrojan que el impacto del calentamiento en el siglo XXI puede llegar a duplicar los daños provocados por los huracanes que ha vivido Estados Unidos entre los años 1900 y 2012. Eso sería así siempre y cuando no se tomen medidas que contribuyan a reducir la vulnerabilidad social y económica ante estos fenómenos. Por tanto, en los niveles actuales de producción económica, hablaríamos de un coste anual equivalente al 0,08 por ciento del PIB o, lo que es lo mismo, unos 12.000 millones de dólares por ejercicio. No hablamos, por tanto, de una fracción significativa de la actividad económica, aunque sí que es cierto que el impacto de los huracanes no se reparte, sino que se concentra, lo que hace que las zonas golpeadas salgan muy maltrechas, como vimos en Nueva Jersey y Nueva York a raíz del huracán Sandy en 2012.

Un estudio cuidadoso elaborado por científicos y economistas y centrado en los efectos del calentamiento global en los huracanes estimó el rango de impacto de estos procesos para distintos países y regiones. La figura 19 muestra los hallazgos de dicha investigación.[99] América Central y el Caribe son las zonas más vulnerables, seguidas por América del Norte (principalmente Estados Unidos). Otras regiones se verán afectadas de manera insignificante, caso de Europa occidental y América del Sur.

FIGURA 19 **Daños generados por huracanes a raíz de la intensificación y alteración de los huracanes que provoca el calentamiento global**



Nota: ¿Qué regiones saldrán más afectadas? El estudio citado encuentra que América Central-Caribe y América del Norte (principalmente Estados Unidos) parten de una mayor vulnerabilidad.

Si nos fijamos en los datos por país proporcionados por los autores del estudio, vemos que la conclusión general es que el calentamiento global generará menos daños adicionales de lo que se ha venido apuntando en otros estudios. Pero, probablemente, lo más interesante de este trabajo es que en los países de mayor peso se puede llegar a observar un proceso de daños decrecientes por huracanes, en un contexto general de temperaturas más altas. Así, Bangladesh no viviría un cambio a peor, sino a mejor. Este resultado, un tanto paradójico, se da porque el calentamiento desplazaría los huracanes, redistribuyéndolos a otras regiones y partiendo su intensificación en diversos focos.

Otro hallazgo interesante, similar a las conclusiones sobre el aumento del nivel del mar que esboza el capítulo 9, es el que sostiene que los daños causados por huracanes están débilmente relacionados con la riqueza nacional. Estados Unidos se ve fuertemente afectado, mientras que el

impacto de la intensificación de huracanes en África es esencialmente nulo. Estos resultados muestran una vez más que los impactos del cambio climático se distribuyen de manera amplia e impredecible.

Adaptación

Las sociedades modernas pueden tomar muchas medidas para reducir su vulnerabilidad ante huracanes más intensos. Por ejemplo, el mejor pronóstico de estos fenómenos ha reducido dramáticamente las muertes generadas por los mismos a lo largo del último medio siglo. Ahora mismo, esas mejoras protegen principalmente a las personas, que pueden planificar su evacuación. Se quedan fuera, no obstante, las casas y otras estructuras rígidas e inmóviles. A largo plazo, no obstante, dichas estructuras vulnerables se irán depreciando, mientras que habrá incentivos para que los nuevos desarrollos sean más sólidos o estén ubicados en zonas más seguras.

Alrededor del 3 por ciento del stock de capital de Estados Unidos está ubicado a menos de 10 metros de altitud sobre el nivel del mar. Asumiendo que los ítems más vulnerables de estas zonas son estructuras residenciales, empresariales o de infraestructuras, podríamos decir que lo que está en peligro tiene un valor actual de 600.000 millones de dólares. La vida media de estos activos son cincuenta años. Pues bien, supongamos que pretendemos reubicar este capital. Durante el próximo siglo, los costes de dichos traslados rondarían el 0,01% del PIB anual. Dicha evolución ayudaría a adaptarse a un mundo más cálido con un coste mucho menor que el que generaría un impacto creciente de huracanes y fenómenos similares.[100]

Este ejemplo ilustra cómo la planificación estratégica para los impactos del cambio climático puede reducir significativamente los daños..., y los costes. Evidentemente, no todo en esta cuestión es sencillo, por ejemplo porque no es fácil «planificar» de forma ordenada este tipo de actuaciones. Puede que los habitantes de una isla sientan poca simpatía por los ricos que ocupan las primeras líneas de playa y que, a raíz del cambio climático, pueden verse obligados a solicitar ayudas gubernamentales que les ayuden a salvaguardar sus propiedades. Puede que la gente de los territorios de

montaña opine que las zonas costeras deben pagarse los costes asociados a vivir junto al mar. Puede que las ciudades prósperas no deseen contribuir a estos «rescates» o, por el contrario, que zonas humildes se nieguen a soportar impuestos más altos para pagar estas acciones.

En cualquier caso, la necesidad de estrategias con visión de futuro para hacer frente a estos retos es crucial para enfrentar el cambio climático de forma pragmática y efectiva. El proceso de adaptación puede reducir significativamente los impactos más peligrosos, pero la dimensión política hace que la dinámica sea también compleja, polémica y desordenada.

11

Vida salvaje y desaparición de especies

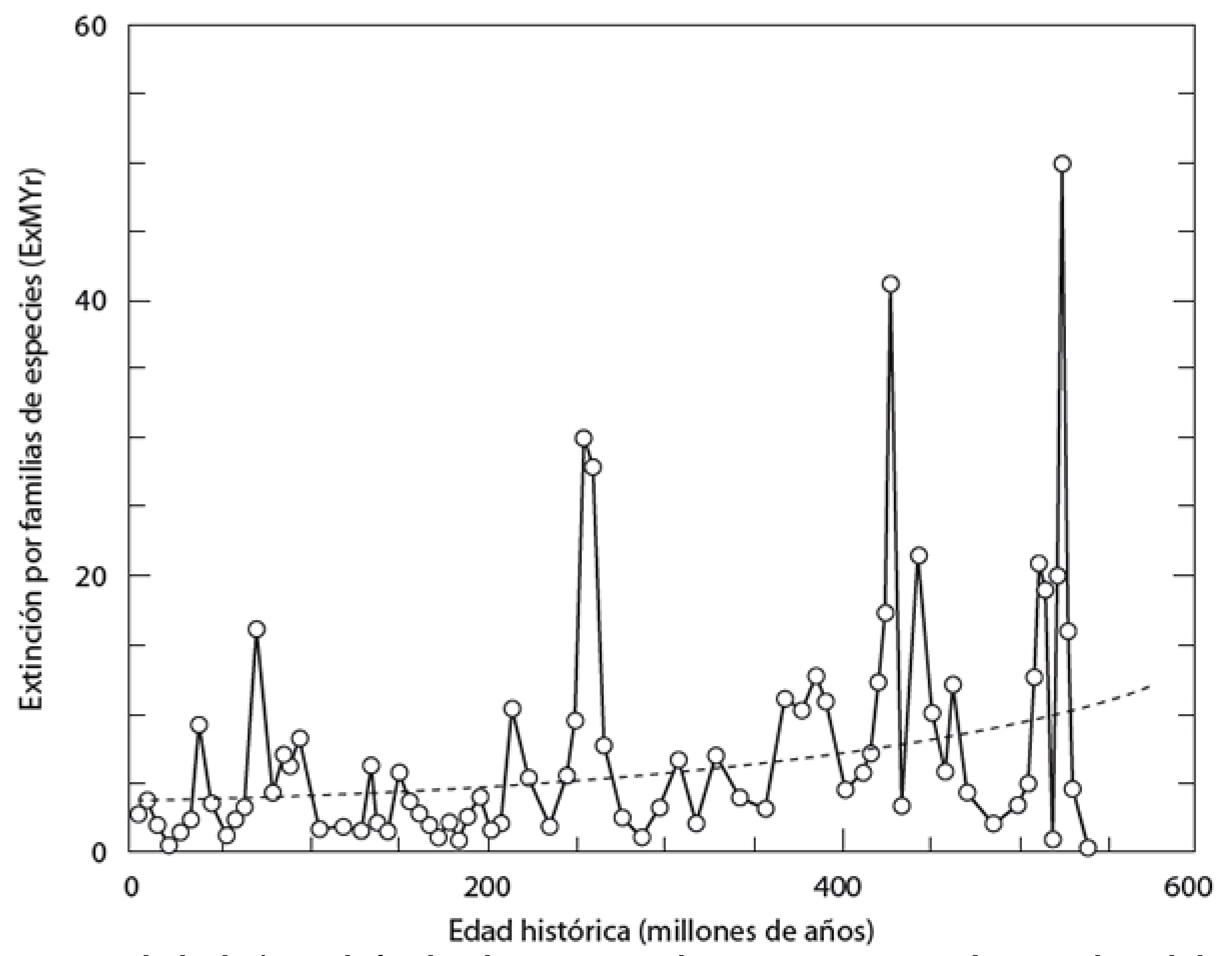
El cambio climático también entraña impactos peligrosos para la vida salvaje y, en general, las especies y ecosistemas de todo el mundo. Los ecosistemas tienen dos características interesantes. De entrada, son sistemas que en gran parte no están administrados y tampoco son administrables. En segundo lugar, hablamos de espacios que están muy alejados económicamente de las dinámicas del mercado.

Esa no relación con el mercado plantea nuevas preguntas para el análisis de impactos: ¿cómo podemos medir el «valor» económico de los ecosistemas o de las especies en peligro de extinción? ¿Cómo podemos «asignar» las pérdidas en esta área en una métrica asimilable a la de los sectores que sí tienen vínculos con el mercado, como la agricultura? Este capítulo comienza con una revisión del impacto potencial del cambio climático en aspectos como la extinción de especies y ecosistemas, para luego tratar el espinoso asunto de la valoración de impactos.

¿La sexta extinción masiva?

Según los biólogos, en la Tierra se han producido cinco extinciones masivas a lo largo de los últimos 500 millones de años. Los biólogos especializados en la conservación de especies nos advierten que la combinación del cambio climático con otras influencias humanas causará una sexta extinción masiva que podría darse en el próximo siglo.[101]

FIGURA 20 **Estimación de la tasa de extinción de organismos marinos para los últimos 600 millones de años**



Nota: Se calcula el número de familias de especies que desaparecieron por completo en cada unidad temporal analizada. Los picos representan grandes eventos que desencadenaron y aceleraron fuertes procesos de extinción, mientras que la línea discontinua muestra el paso del tiempo.

La historia del planeta recoge episodios de este tipo a lo largo del tiempo. En la figura 20 vemos una estimación de la tasa de extinción para los organismos marinos, un campo en el que los registros son más completos que en los análisis de la vida terrestre.[102] Las extinciones más importantes ocurrieron en los períodos que muestran un repunte en forma de pico. Los científicos las atribuyen a eventos como las colisiones de asteroides, las grandes erupciones volcánicas, las glaciaciones, los efectos del ANM... La extinción Pérmica-Triásica, de hace unos 250 millones de años, es un buen ejemplo. Entonces, la eliminación llegó al 90 por ciento de las especies existentes.

La tasa de extinción de los últimos 15.000 años ha sido relativamente baja. De hecho, muchas de las extinciones que se han dado durante dicho proceso han sido debidas a intervenciones humanas. Por ejemplo, más de la mitad de las grandes especies de mamíferos que moraban en las Américas desaparecieron en un corto período de tiempo cuando los seres humanos empezaron a poblar el continente, hace unos 13.000 años, y aniquilaron con sus lanzas e instrumentos a estos animales. Hay evidencia de que los humanos han tenido un efecto similar sobre otras especies, en otros continentes e islas y en otros períodos históricos.

También es cierto que, en períodos anteriores, la conservación de las especies no tenía ningún interés ni valor para el ser humano. Si una especie desaparecía, como en el caso del pájaro dodo, esa circunstancia no se lamentaba y, a veces, ni siquiera se notaba y percibía. Hablamos, pues, de una preocupación mucho más reciente.

El cambio climático y el potencial de las extinciones

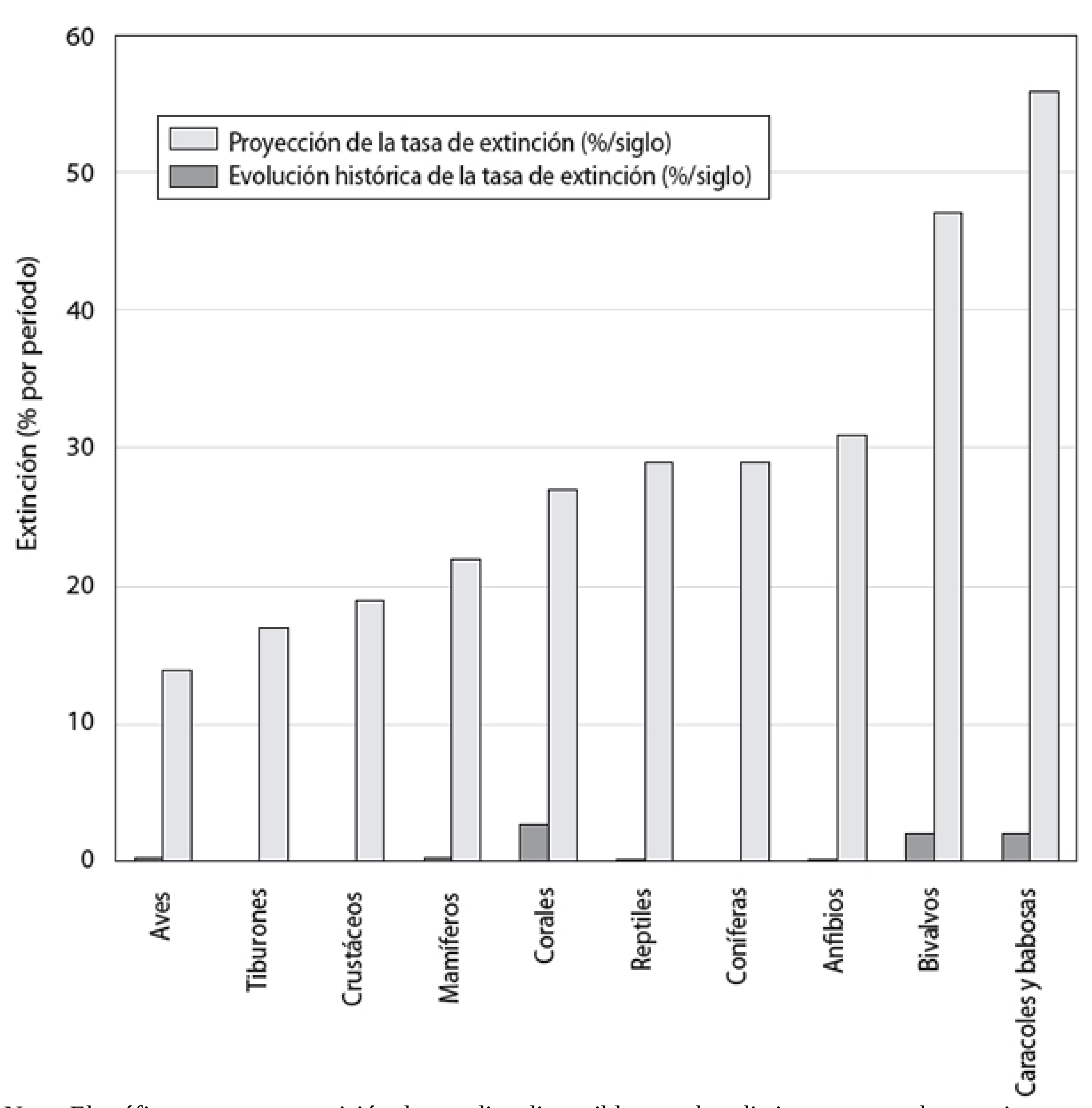
Sabemos que los cambios climáticos del pasado estuvieron acompañados por episodios de extinciones masivas. ¿Volverá a suceder en las próximas décadas? Las estimaciones sobre esta cuestión son particularmente difíciles de precisar. Para empezar, las estimaciones de la tasa actual de extinción varían mucho. El número observado de extinciones es relativamente pequeño, mientras que los cálculos teóricos arrojan números más grandes.[103]

Los científicos que han estudiado las posibles extinciones futuras proyectan graves consecuencias en el caso de que se produzca un calentamiento acelerado. La revisión de los estudios disponibles sugiere que la amenaza de extinción para muchos grupos aumentará de la tasa actual de extinción, que ronda el 0-0,2 por ciento, a niveles que irán del 10 al 50 por ciento, como vemos en la figura 21.[104] Por su parte, el IPCC concluyó que alrededor del 25 por ciento de las especies del mundo corren un alto riesgo de extinción en un escenario futuro de cambio climático no controlado.[105] A esta perspectiva hay que sumarle los peligros para los organismos

marinos de la acidificación del océano, que generalmente no se incluyen en estos cálculos, a pesar de que el resultado puede ser, en efecto, la desaparición completa de las especies afectadas.

Si bien estos números pueden resultar aterradores, conviene recordar también que estas estimaciones están sujetas a importantes matizaciones, tal y como explican los párrafos siguientes.

FIGURA 21 **Tasas de extinción para diferentes grupos, históricas y proyecciones futuras**



Nota: El gráfico recoge una revisión de estudios disponibles y cubre distintos grupos de especies.

El reto de asignar un valor de mercado a aquello que está fuera del mismo

Oscar Wilde comentó una vez que un cínico es un hombre que sabe el precio de todo y el valor de nada. Este dicho se aplica en ocasiones a los economistas, de quienes se dice que apenas se dedican a estudiar cuestiones que pueden ser valoradas en términos monetarios: precios de acciones, tipos de interés, coste de vivienda o alimentos...

Antes de discutir por qué este estereotipo está totalmente equivocado, debemos aclarar también que muchas de esas cuestiones que, en efecto, se tienden a analizar con una lupa economicista son, en la práctica, cuestiones vitales para la vida de millones de personas. Incluso en Estados Unidos, un país tremendamente rico, hay 10 millones de personas que perdieron su casa durante la Gran Recesión, o 46 millones de beneficiarios de programas asistenciales que proporcionan cupones de alimentos a personas de rentas bajas. Tal vez el dinero no puede comprar la felicidad, pero puede comprar un techo o un alimento.

Dicho esto, los economistas han reconocido desde hace mucho tiempo que las personas no valoran únicamente aquello que se puede comprar y vender, sino que también asignan un valor a actividades que no están relacionadas con el mercado. Muchas cosas que nos importan sobremanera no se producen ni se venden en los mercados. Cuidar a nuestra familia, visitar el Gran Cañón... Todo eso puede tener algún precio económico, pero tiene un enorme valor que rebasa holgadamente dicho coste.

Para ilustrar este punto, hagamos el siguiente ejercicio. Saquemos un pedazo de papel. Escribamos diez actividades que consideramos esenciales. Preguntémonos después cuántas de esas actividades pueden comprarse en una tienda. Probablemente veremos que muchas de esas cosas a las que asignamos un enorme valor están disponibles en los mercados económicos al uso. Ése es el desafío que nos encontramos cuando tenemos que hablar de cuestiones como las que aborda este capítulo.

Comprender los aspectos económicos de las actividades no relacionadas con el mercado es importante porque muchos de los impactos del cambio climático no son precisamente medibles bajo mecanismos de mercado.

Pensemos, por ejemplo, en las cuatro áreas de preocupación que se han resaltado en anteriores páginas: el aumento de los mares, la acidificación de los océanos, los huracanes y la desaparición de especies. Hablamos, ante todo, de sistemas naturales, no de procesos de mercado. Ninguno de ellos está, en sentido real, sujeto a las reglas y pautas de producción del mundo empresarial, como tampoco están incorporados a un sistema de precios de la manera en que vemos con los alimentos, la vivienda, etc.

No es casual que muchos de los impactos más significativos derivados del cambio climático ocurran fuera del mercado. Los mercados son mecanismos para el control social y la gestión de los recursos naturales y otros sistemas. Los arquitectos diseñan casas para proteger a sus ocupantes del calor y el frío, de las inundaciones y los terremotos, de los insectos y los animales salvajes. Los especialistas en agricultura diseñan sistemas de riego, pesticidas y semillas para proteger los cultivos contra los peligros naturales que arruinaron a los agricultores en buena parte de las épocas pasadas. Los diques y las paredes de contención del mar están diseñados para evitar daños causados por las tormentas y el agua. Todos estos sistemas pueden fallar espectacularmente, al igual que ocurrió con las barreras marítimas de Japón durante el tsunami de 2011. Esos fallos ocurren porque los diseños humanos son inteligentes, pero no perfectos.

De todas las áreas que hemos examinado, los impactos del cambio climático en las especies y los ecosistemas son los que están más alejados del mercado. Consecuentemente, plantean los problemas más profundos, tanto desde el punto de vista del análisis como desde la perspectiva de la valoración.

Valoración de ecosistemas y especies

La mayoría de las personas está de acuerdo en que debemos prevenir la pérdida de especies y ecosistemas valiosos. Sin embargo, surgen grandes dificultades cuando intentamos medir el valor de estos sistemas. ¿Cuánto pagarán o sacrificarán las generaciones venideras si tienen en sus manos la posibilidad de evitar la pérdida de la vida silvestre y las especies? ¿Cuánto cuesta mantener sobre la faz de la Tierra a criaturas icónicas como los osos

polares? ¿Qué hay de los arrecifes de coral? ¿Cómo pensamos proteger a las aproximadamente 700.000 especies de arañas que aún no han sido descubiertas de forma concreta pero que sabemos que existen en junglas y selvas?

Podría objetarse que incluso el mero hecho de plantear estas preguntas muestra un sesgo hacia el materialismo más crudo. Dicha línea de pensamiento parte de que tratar de sopesar la vida en términos monetarios es un acto inmoral. Pero esa mirada crítica es incorrecta. Lo inmoral es omitir el valor de especies cuando contamos las pérdidas del cambio climático. Algunas personas creen que los impactos en los ecosistemas son, de hecho, los daños más significativos que se pueden poner en la balanza cuando ponderamos los costes y beneficios ligados a las políticas de acción contra el cambio climático.

La prevención de la pérdida de ecosistemas y especies, en particular las asociadas con el aumento de las concentraciones de CO_2 y el calentamiento global, no es asunto simple. Implica, como explican los siguientes capítulos, la toma de medidas que ayuden a cambiar los sistemas energéticos que nutren nuestra actividad socioeconómica. Esto implica costes muy grandes. Por lo tanto, es inevitable forjar un compromiso entre los costes de nuestras reducciones de emisiones y los riesgos que entraña la pérdida de ecosistemas y especies.

¿Cómo hacen los economistas y especialistas climáticos para medir esta compensación? Sin duda, éste es el campo más difícil de todos desde el punto de vista de la estimación de los daños económicos del cambio climático. Las ciencias naturales y sociales tienen grandes dificultades para hacer estimaciones confiables referidas al valor de preservar los ecosistemas y las especies. Hay dos dificultades clave: es complicado obtener estimaciones confiables de las pérdidas y también es complejo valorar las pérdidas que se van produciendo.

Empecemos por el comienzo. La dificultad de hacer proyecciones confiables sobre la pérdida de especies a largo plazo es evidente. Hay un trabajo muy citado sobre esta cuestión que concluye que entre el 18 y el 35 por ciento de las especies están afectadas por la posibilidad de una extinción derivada del cambio climático.[106] ¿Cómo llegaron los

investigadores a esta conclusión? El estudio comienza con la estimación del rango climático en el que se mueven las especies existentes en cada región. A continuación, el equipo de investigadores consideró cómo cambiaría ese rango climático en un escenario particular. Por ejemplo, examinaron la incidencia de un calentamiento de 3 grados centígrados en las plantas *Proteaceae* de Sudáfrica. Completada esa primera etapa, los académicos aplicaron la técnica conocida como «especie-área», una ley empírica según la cual el número de especies aumenta a medida que aumenta el área del hábitat. Para las regiones estudiadas, se estimó que el rango climático de la mayoría de especies se contraería a raíz del calentamiento global, lo que a su vez reduciría el número de especies. Así, si la temperatura sube 3 grados centígrados, en Sudáfrica veríamos que el 38 por ciento de las plantas *Proteaceae* terminaría extinguiéndose. Hay estudios muy parecidos, pero centrados en los arrecifes de coral.[107]

Si bien estos trabajos son ampliamente citados, los métodos empleados tienen severas limitaciones que debemos poner encima de la mesa. De entrada, la mayoría de los estudios consideran especies «vulnerables», así como aquellas que están al borde de la extinción. Además, ignoran que muchas especies pueden preservarse mediante la intervención humana, por lo que las extinciones generalmente se limitan a especies que habitan medios salvajes y silvestres. Por otro lado, las técnicas utilizadas en estos estudios no recogen procesos que igualmente pueden darse, como el hecho de que las especies afectadas se adapten al nuevo medio.

También es importante apuntar que las estimaciones de rangos climáticos tienden a estar sesgadas estadísticamente, puesto que suponen que los rangos se reducen pero no pueden expandirse, lo que conduce necesariamente a un menor número de especies. En realidad, algunos rangos climáticos cambiarán y algunas áreas crecerán, por lo que también se puede defender que la cantidad de especies aumentará en numerosas regiones.

Quizá hay una forma de reconciliar todo esto. Quizá podemos elaborar estimaciones confiables del riesgo de extinción para diferentes especies. Pero incluso entonces debemos enfrentar el problema segundo. Y es que, a fecha de hoy, los ecologistas y los economistas no han desarrollado técnicas

confiables para valorar las pérdidas inherentes a la extinción de especies y ecosistemas. No hay una etiqueta de precio sobre el valor de una especie o de un ecosistema que se extinguen.

Tomemos algunos ejemplos específicos de especies que están amenazadas por el cambio climático: el zorro ártico, la tortuga baula y el koala. Consideremos ecosistemas específicos en peligro de extinción, como la Gran Barrera de Coral de Australia o el Reino Floral del Cabo de Sudáfrica. ¿Cómo podemos asignarle un valor económico a estas especies y ecosistemas que nos ayude a sopesar los costes y beneficios derivados de las diferentes políticas contra el cambio climático?

Esta dificultad se puede describir comparando el problema que nos ocupa con los impactos económicos derivados del daño a la producción de trigo, un asunto discutido en páginas anteriores. Cuando la producción de trigo disminuye, los economistas típicamente valoran esa pérdida al precio de mercado del trigo. Si el cambio climático hace que la producción de trigo disminuya en 100 millones de bushels y el precio se mantiene en 5 dólares por bushel, el coste social se estima en 500 millones de dólares. Podemos mejorar el cálculo si nos fijamos, por ejemplo, en el impacto concreto en familias de ingresos bajos, pero no es fácil llegar a estas estimaciones con toda la certeza necesaria.

Entonces, ¿cómo podemos hacer algo aún más complejo, como es la valoración de sistemas naturales? Los especialistas han examinado el mercado o los valores de mercado cercano. También se han centrado en asignarle un valor a la externalidad que supone la desaparición de la especie. Empezaremos primero por el valor de mercado o valor de mercado cercano. En la literatura técnica también pueden encontrarse referencias al concepto de «valor de uso».

Entendemos como valor de mercado el precio de un bien en una tienda. El valor cercano al mercado es el precio de mercado que se obtiene fuera del mercado, por ejemplo el precio de contratar a alguien para que repare una avería en nuestro hogar. Para los científicos preocupados por las pérdidas de ecosistemas y especies, es difícil elegir una u otra aproximación a la hora de inferir qué coste económico tiene perder la biodiversidad amenazada por el cambio climático. También surgen, de hecho,

investigaciones que abarcan el concepto de «pérdidas potenciales». Por ejemplo, si tenemos en cuenta que, según algunas voces, parte sustancial de los productos farmacéuticos occidentales se derivan de ingredientes obtenidos en entornos salvajes como la selva tropical, entonces podemos calcular lo que eso supone para la salud en términos inmediatos (menor acceso a tratamientos) y de medio y largo plazo (peor salud, más gasto por enfermedades, etc.).[108] Llevándolo al extremo, también se puede asumir que, por ejemplo, si desaparece un helecho desconocido pero que contiene una milagrosa cura contra el sida, perdemos la probabilidad de alcanzar dicha solución médica.

Pero la realidad es la que es y conviene hacer un juicio somero y razonable. Hablemos, por ejemplo, del ámbito farmacéutico. En efecto, es cierto que casi la mitad de los nuevos medicamentos contra el cáncer desarrollados en las últimas seis décadas los fueron a partir de productos naturales y sus derivados. No obstante, esto no significa que su origen surja de forma espontánea, con el descubrimiento de una planta curativa en un entorno salvaje. Muchos descubrimientos tienen lugar en laboratorios, con trabajos que amplían o modifican intentos realizados previamente. También se trabaja a partir de tratamientos viejos que son conocidos y que pueden ser reinterpretados y mejorados, como por ejemplo hacen algunas farmacéuticas con viejos remedios herbales de origen chino. ¿Cuántos descubrimientos provienen directamente de la selva tropical? Apenas uno en las tres últimas décadas: el taxol (que, de hecho, viene de una selva tropical «templada», no de una selva tropical al uso). Por tanto, aunque los productos naturales son los antecesores más antiguos de numerosos medicamentos, también es cierto que dichos orígenes se encuentran muy arriba en las raíces genealógicas del medicamento. En todos los casos, aquel primer elemento ha sido optimizado, trabajado, modificado y sintetizado en laboratorios.[109]

He invertido un verano entero en estudiar estas cuestiones. Lo hice, además, trabajando con un equipo de estudiantes que se sumó a la investigación. Y, siendo honesto, nuestra conclusión fue que es imposible evaluar la hipótesis de que se perderán importantes riquezas medicinales debido a la desaparición de algunas selvas tropicales afectadas por el

calentamiento y sus dinámicas. Simple y llanamente, no hay evidencia convincente para afirmar algo así, como tampoco para descartar este supuesto por completo. Lo que sí se puede decir, sin miedo a equivocarnos, es que cuanto más analizamos esta cuestión, más difícil sigue siendo el asunto de la valoración.

Entonces, ¿cómo podemos calcular el valor de especies o ecosistemas amenazados? Podemos plantearlo desde el punto de vista de las externalidades. A menudo se habla de externalidades negativas, como la contaminación, pero también conocemos externalidades positivas como los faros, que salvan vidas y cargamentos advirtiendo a los barcos de la cercanía a la costa y los peligros que acechan. Los encargados de los faros no pueden cobrar tarifas a los barcos e, incluso si pudieran, no sería muy conveniente. La luz que prestan los faros se puede proporcionar de manera eficiente gracias a que el coste de operarlos es el mismo tanto si se beneficia un barco como si los buques alertados superan el centenar.[110]

Las especies y los ecosistemas desempeñan un papel similar. El valor del zorro ártico o la Gran Barrera de Coral no se puede capturar cobrando a la gente para que los visite y los observe. La ganancia de preservar estos sistemas en peligro de extinción es principalmente el placer de tener un animal o un lugar muy hermoso en la Tierra. Los osos polares pueden tener algún valor turístico monetario para las comunidades árticas, pero es probable que sea minúsculo en relación con sus valores de externalidad positiva.

La dificultad viene al intentar estimar el valor de externalidad de las especies y los ecosistemas en peligro de extinción. Quizá en un mundo fantástico habría un mercado para estas cuestiones y podríamos «pagar» dinero para asegurarnos de que el zorro ártico o la Gran Barrera de Coral siguen existiendo en el futuro. Sin embargo, como no existe nada parecido a un mercado de estas características, carecemos de una escala confiable que nos permita medir la ganancia derivada de proteger especies y ecosistemas para garantizar que siguen existiendo.

En ausencia de mercados, los economistas especializados en temas ambientales han desarrollado métodos para simular esos mercados. La técnica más importante se conoce como «metodología de valoración

contingente» (MVC), que estima el valor de las actividades y recursos que no son de mercado. La MVC parte de encuestas realizadas a partir de una muestra representativa de la población relevante y trata de preguntar qué personas estarían dispuestas a pagar por un bien o servicio determinado y cuántos recursos dedicarían a dicho fin. Son, esencialmente, encuestas muy estructuradas en las que se pregunta a las personas, por ejemplo, «¿pagaría por proteger o preservar el zorro ártico?» o «¿cuánto vale para usted el hecho de saber que la Gran Barrera de Coral existirá en el futuro?».

Ya hemos establecido que el cambio climático puede afectar a la salud de los ecosistemas. Por tanto, estamos ante un reto concreto que debe invitarnos a reflexionar sobre la importancia de determinar el valor de aquello que está en riesgo, por difícil que sea.[111] En Estados Unidos, por ejemplo, el gobierno tendrá que calibrar el impacto derivado de construir nuevas presas o mejorar las ya existentes. Para hacerlo, tendrá que saber cuál es el valor del salmón y otros peces migratorios que se pueden ver afectados por una u otra decisión.

Podríamos estimar el valor de mercado de la captura de dichos peces en los supermercados, pero eso dejaría de lado parte del valor que tienen estas especies. Un estudio de Layton, Brown y Plummer que emplea la MVC estima el valor que asignan los hogares a distintos peces de su zona. Los autores realizaron una encuesta en la que contemplaban la posibilidad de que se den dos escenarios: el primero, que siga disminuyendo la población de peces de sus ríos; el segundo, que dichos niveles se mantengan constantes durante las dos próximas décadas. El sondeo se hizo en el estado de Washington y determinó que cada encuestado estaba dispuesto a pagar una media de 736 dólares anuales para apuntalar la segunda opción y descartar la primera.[112] Ampliando el cálculo a 5 millones de habitantes, esto supondría un presupuesto total de 3.700 millones de dólares por ejercicio.

Si bien la MVC se ha aplicado en muchas áreas, hasta la fecha no se ha empleado con la escala y el alcance que requiere la estimación de los impactos del calentamiento global. Existen obstáculos formidables, incluso insuperables, que complican el reto de realizar una evaluación completa del impacto del cambio climático en términos de valor de especies perdidas y

ecosistemas dañados. Una dificultad evidente es que los científicos tienen grandes problemas para especificar qué cambios necesitan valoración. Vimos anteriormente cuán dispares son las estimaciones sobre el número de especies que se pueden perder. Tampoco hay claridad sobre el horizonte con el que contamos para evitar esos daños. Pero hay más obstáculos. Uno muy evidente es el enorme tamaño de la muestra, puesto que ya no hablaríamos de un pequeño territorio de Estados Unidos sino de todo el mundo.

Además, el uso de MVC ha sido altamente controvertido en economía y está lejos de ser un mecanismo universalmente aceptado. Hay quienes sostienen que «tener un número es mejor que no tener ninguno», pero también hay quienes defienden que, en ausencia de métodos confiables, «es mejor no dar ninguno que dar un número poco fiable». El tema ha sido debatido a lo largo de los años y no ha dado pie a ningún consenso sobre esta técnica.[113]

Algunos expertos argumentan que las respuestas que se obtienen de la MVC no son fiables, dada la dificultad inherente al reto de pensar sobre estas preguntas. Obviamente, se pregunta a las personas sobre una situación hipotética que tal vez no entiendan. Además, una cosa es la respuesta que damos en un sondeo y otra el comportamiento real que tenemos de manera efectiva cuando verdaderamente debemos tomar acciones. Y, no lo olvidemos, no sabemos qué tipo de imágenes o situaciones vienen a la cabeza de los encuestados cuando les planteamos situaciones futuras tan inciertas. En este sentido, hay muchos sesgos subjetivos que desconocemos y que habría que superar para que el método fuese más fiable.

Los escépticos de la MVC señalan, además, que las cifras que arrojan estos sondeos suelen ser demasiado elevadas. Por ejemplo, en el caso de los peces del estado de Washington, la encuesta arrojaba una aportación anual de 736 dólares, que suponen el 1,6 por ciento de los ingresos medios de las familias de la región (46.400 dólares al año). Hablamos, pues, de una suma muy elevada que, en efecto, nos invita a pensar qué ocurriría si también exigiésemos a las personas encuestadas que se pronunciasen sobre el valor de las aves migratorias, la calidad del agua, la contaminación del aire y muchos otros retos medioambientales que también afectan a este y otros estados de mi país. ¿Anunciarían también los residentes de Washington

unos compromisos de gasto tan elevados? ¿O pasarían a repartir un monto algo mayor entre un número mucho mayor de proyectos? Lo cierto es que si preguntamos a los encuestados cuánto pagarían por todos estos problemas combinados, lo más probable es que nos digan una cifra inferior a la suma de las respuestas que obtendremos si hacemos los sondeos de forma aislada, problema por problema. Y, si sometemos esta cuestión a un referéndum, ¿quién nos asegura que el clima político permitirá que salga adelante la propuesta? Es posible que, ante la suma de impuestos que ya pagan, la mayoría de los contribuyentes elijan el «no» y se nieguen a aportar fondos adicionales al presupuesto estatal.

Mi evaluación personal aquí es que la MVC y otras técnicas similares son ilustrativas pero no muy confiables para ser utilizadas en la evaluación del coste que tienen los distintos impactos derivados de la concentración de CO_2 y GEI, así como de otros procesos catalizadores del cambio climático. Las deficiencias metodológicas comentadas anteriormente indican que estamos muy lejos de tener estimaciones confiables del impacto económico de las pérdidas para la vida silvestre, las especies y los ecosistemas. Por tanto, no tenemos herramientas solventes que nos ayuden a integrar estos cálculos en nuestro análisis económico del «casino» en el que se está jugando el futuro del clima.

Esto no significa que debamos lavarnos las manos y olvidarnos del problema. Cuando menos, necesitamos llegar a una mejor manera de clasificar las especies y los ecosistemas que necesitan una conservación, para separar aquello que es más urgente de cuestiones con una prioridad de segundo o tercer rango. Algunos biólogos sugieren que estimar sin más el número de especies que están en riesgo es una medición inapropiada, porque parte de que la importancia biológica de los organismos en peligro es equivalente.

Otras métricas enfatizarían características tales como la diversidad funcional o de comportamiento, la capacidad de recuperación después de un choque ambiental, etc. Estos aspectos fueron analizados por los biólogos Sean Nee y Robert May, que estudiaron qué porcentaje de la diversidad genética o de la información codificada en el ADN se perdió en las extinciones pasadas. Se trata de saber hasta qué punto los episodios

anteriores tuvieron un impacto en lo que Charles Darwin denominó «el árbol de la vida». Este planteamiento de Nee y May parte, por tanto, de que no todas las especies son igualmente importantes. Por ejemplo, la extinción del pájaro dodo, que no tiene parientes genéticamente cercanos, supondría una mayor pérdida de diversidad que la desaparición de cualquiera de las 3.000 especies de mosquitos que conocemos. De ahí se sigue el sorprendente hallazgo de que alrededor del 80 por ciento del «árbol de la vida» subyacente sobrevivió episodios que extinguieron al 95 por ciento de las especies.[114]

Otros académicos, como el economista Martin Weitzman, de Harvard, han desarrollado mediciones referidas a la «importancia» de las diferentes especies.[115] Ésta es una tarea importante. La biología moderna deberá desarrollar métricas más pulidas sobre la importancia jerárquica de las especies y los ecosistemas, para así guiar con información transparente nuestras decisiones en materia de conservación medioambiental y lucha contra el cambio climático. Por otro lado, deberíamos alentar a ecologistas y economistas a trabajar juntos para desarrollar estimaciones más completas del valor de las especies y los ecosistemas que pueden perderse, aunque ésta es una tarea difícil en la que la experiencia ha sido, hasta ahora, decepcionante.

Si algo podemos concluir en materia de valoración de impactos en especies y ecosistemas es que la estimación de estos daños es una de las tareas más difíciles de todas. Tenemos una comprensión insuficiente de los riesgos y, de hecho, ni siquiera sabemos cuántas especies existen en el mundo hoy en día. Con el conocimiento del que disponemos, no podemos valorar los ecosistemas de manera confiable, de modo que tampoco podemos clasificarlos con solvencia en términos de su importancia relativa.

También es importante recordar que no todas las personas analizan el reto de la extinción con el mismo punto de vista ético. No obstante, sí hay una parte muy importante de gentes que creen que los seres humanos desempeñan un papel central en todo esto, al ser los administradores del planeta Tierra. Desde esa perspectiva, se antojaría inmoral que permitiésemos una sexta extinción masiva de la que ya estamos alertados y advertidos. Deshacer en un siglo todo ese patrimonio heredado sería

terrible. No podemos quedarnos de brazos cruzados ante la perspectiva de que desaparezcan especies y ecosistemas tan ricos. Y, como escribió el filósofo Arthur Schopenhauer, «la suposición de que los animales carecen de derechos y la ilusión de que nuestro tratamiento no tiene importancia moral es un ejemplo indignante de la crudeza y la barbarie de Occidente».[116]

Hasta aquí la discusión de los impactos particularmente intratables del cambio climático. No son necesariamente catastróficos para los seres humanos, aunque es probable que tengan consecuencias graves en ciertas comunidades, como también entrañan amenazas reales para determinadas especies y ecosistemas.

Mirando al futuro, el principal obstáculo con el que nos topamos es el hecho de que los humanos no podemos controlar de manera efectiva los impactos en estas áreas. Quizá los futuros biólogos puedan regenerar el pájaro dodo de una época anterior o revivir al zorro ártico en caso de que se extinga. Pero, hasta ese día, es probable que los impactos a gran escala del cambio climático sean generalizados, alterando el mundo natural de maneras que son incluso peligrosas.

12

Sumando los daños generados por el cambio climático

En los capítulos anteriores hemos analizado detenidamente los principales impactos derivados del cambio climático. El análisis no puede ser genérico, sino que debe ir caso por caso, puesto que cada proceso guarda sus propias dinámicas y relaciones con el calentamiento global. La humedad del suelo es crítica para la agricultura, la temperatura de la superficie del mar afecta a los huracanes, las concentraciones atmosféricas de CO_2 inciden en la acidificación de los océanos, etc.

Pero, ahora que ya hemos analizado caso por caso, conviene esbozar una conclusión de alcance más general. La revisión de impactos nos permite enfatizar cinco cuestiones con claridad:

- Los daños causados por el calentamiento están estrechamente relacionados con la economía. Son consecuencias involuntarias (externalidades negativas) que se derivan del rápido crecimiento económico. Un crecimiento económico cero reduciría, en gran medida, las amenazas del calentamiento.
- Es crucial distinguir entre sistemas administrados por el hombre (como la economía industrial) y los sistemas que no son manejables (como los océanos y sus procesos de acidificación). Nuestra preocupación debe centrarse en los segundos: focos de posibles impactos que no están administrados y quizá nunca podrán estarlo.
- Hemos visto que las economías de mercado de los países de altos ingresos están cada vez más aisladas de las vicisitudes del clima y otras perturbaciones de la naturaleza. Esto se debe, en parte, a que los sectores basados en la naturaleza, como la agricultura, están reduciendo su peso en relación con los servicios.

- Si nuestras sociedades evolucionan y crecen rápidamente en las próximas décadas (como proyectan todos los modelos económicos y climáticos disponibles), nos toca lidiar con el reto de proyectar impactos para el próximo siglo o incluso más allá. Esta evaluación es difícil porque el cambio tecnológico es rápido en áreas como la agricultura, la salud humana y la migración. Evaluar el desempeño de nuestras economías y realizar análisis de impactos confiables para un futuro tan lejano es tan difícil como ver un paisaje a través de un telescopio difuso.
- Por último, los impactos más preocupantes se encuentran en ámbitos y áreas que están muy alejados del mercado y, por lo tanto, de la gestión humana. Lo vemos, por ejemplo, en los tesoros naturales, la acidificación de los océanos, las especies y ecosistemas en peligro de extinción... Valorar los impactos en estas áreas es un reto muy complicado, por la dificultad de estimar los daños. La economía está aportando pocas respuestas en este sentido, pero precisamente aquí es muy necesaria su ayuda, porque una adecuada medición ayuda a priorizar actuaciones.

La vulnerabilidad, por sectores económicos

Partiendo de estas observaciones, veamos el panorama general. Hagámoslo primero pensando en la economía de mercado de Estados Unidos para el período 1948-2011. La composición industrial de mi país es representativa de los países de ingresos altos en la actualidad y, probablemente, los países de ingresos medios tendrán una estructura similar a mediados del próximo siglo.

TABLA 5 **Vulnerabilidad de la economía de Estados Unidos ante el cambio climático, por sectores, 1948-2011**

	Porcentaje de la renta nacional afectado, por sectores		
	1948	**1973**	**2011**
Sectores muy afectados	9,1	3,9	1,2
Agricultura	8,2	3,4	1,0
Bosques y silvicultura o pesca	0,8	0,5	0,2
Sectores con impacto moderado	11,6	11,4	9,0
Inmobiliario (costero)	0,3	0,4	0,5
Transporte	5,8	3,9	3,0
Construcción	4,1	4,9	3,5
Suministros y utilidades	1,4	2,1	2,0
Sectores con impacto leve o insignificante	79,3	84,7	89,8
Inmobiliario (no costero)	7,2	9,3	10,8
Minería	2,9	1,4	1,9
Industria (bienes duraderos)	13,5	13,5	6,0
Industria (bienes no duraderos)	12,7	8,5	5,4
Comercio al por mayor	9,1	7,8	6,0
Almacenamiento	0,2	0,2	0,3
Información	2,8	3,6	4,3
Seguros y finanzas	2,5	4,1	7,7
Servicios de alquiler y *leasing*	0,5	0,9	1,3
Administraciones públicas	11,1	14,6	13,2
TOTAL	**100**	**100**	**100**

Para ofrecer respuestas a esta pregunta, he empezado por clasificar las industrias de Estados Unidos en tres grandes grupos: sectores muy afectados, sectores con un impacto moderado y sectores afectados de manera leve o insignificante. Los resultados están en la tabla 5.[117]

Los estudios más detallados sobre los impactos indican que es probable que el sector más afectado sea la agricultura, seguido de los bosques y la silvicultura o la pesca. En dichos campos, la productividad podría disminuir

sustancialmente en escenarios climáticos extremos (como ya apuntan el capítulo 7 o la figura 14).

El segundo grupo de industrias incluye aquellos sectores que están afectados por el cambio climático, pero que pueden adaptarse a sus efectos asumiendo unos costes relativamente modestos. Un ejemplo es la industria del transporte. Las condiciones climáticas extremas, como la nieve o las inundaciones, pueden causar retrasos e imponer gastos adicionales, pero es probable que los impactos del cambio climático en los viajes por carretera o en avión sean relativamente pequeños, alcanzando como máximo algunos puntos porcentuales de su producción esperada para el próximo siglo.

Por otro lado, es probable que las industrias que figuran en el tercer grupo de la tabla 5 experimenten poco o ningún efecto directo ligado al cambio climático. En este grupo se incluyen principalmente servicios como la atención médica, las finanzas, la educación o las artes. Por ejemplo, si pensamos en la atención que brindan las clínicas de neurocirugía, es lógico pensar que las visitas y operaciones seguirán desarrollándose con normalidad, por mucho que se den variaciones climáticas.

En su conjunto, los servicios han aumentado de manera notable su peso en la economía estadounidense. Mientras que en 1929 suponían el 25 por ciento, hoy ya vemos tasas que llegan al 52 por ciento. Esto indica que la tendencia productiva contribuye a aislar buena parte de las actividades desarrolladas en el mercado de los efectos adversos provocados por el cambio climático.

Los números que se muestran en la tabla 5 brindan una imagen sorprendente de cómo ha evolucionado la vulnerabilidad de la economía estadounidense ante la evolución del clima. En las seis últimas décadas hemos visto como el peso de los sectores fuertemente afectados por el calentamiento global ha pasado de mover el 9,1 por ciento de la renta nacional a registrar cotas del 1,2 por ciento. En cuanto a los sectores moderadamente afectados por los impactos de estos procesos medioambientales, su peso no llega siquiera al 10 por ciento. Así, en la actualidad vemos que los sectores económicos menos susceptibles a los impactos del cambio climático constituyen el 90 por ciento del mercado nacional.

Vale la pena, a la luz de estos datos, considerar con algo más de detalle el marcado descenso que se da en el peso de los sectores más vulnerables al cambio climático. Su importancia relativa es ahora nueve veces menor que a mediados del siglo XX. Esta tendencia se debe, en gran medida, a la disminución de la participación de la agricultura en el PIB del país norteamericano. En 2012 apenas el 1 por ciento del empleo estaba ocupado en el sector primario.

Los rasgos generales que se ponen de manifiesto con los datos incluidos en la tabla 5 se observan también en la mayoría de las regiones del mundo. A medida que las economías maduran, las personas pasan de estar ocupadas en la agricultura rural a conseguir trabajos en la industria, primero, y en los servicios urbanos, después. La agricultura supone aproximadamente entre el 1 y el 3 por ciento en los países de altos ingresos. Para las economías de ingresos bajos y medios, la proporción también va a menos: del 25 por ciento marcado en 1970 al 10 por ciento observado en 2010.

El Banco Mundial proporciona datos sobre esta cuestión para 166 países y apenas cuatro de ellos muestran un peso creciente de la agricultura sobre el PIB: República Democrática del Congo, Sierra Leona, República Centroafricana y Zambia. Todos los demás países analizados muestran una tendencia estable o, en la mayoría de los casos, una tendencia a la baja en el peso relativo de la agricultura sobre la renta nacional.[118]

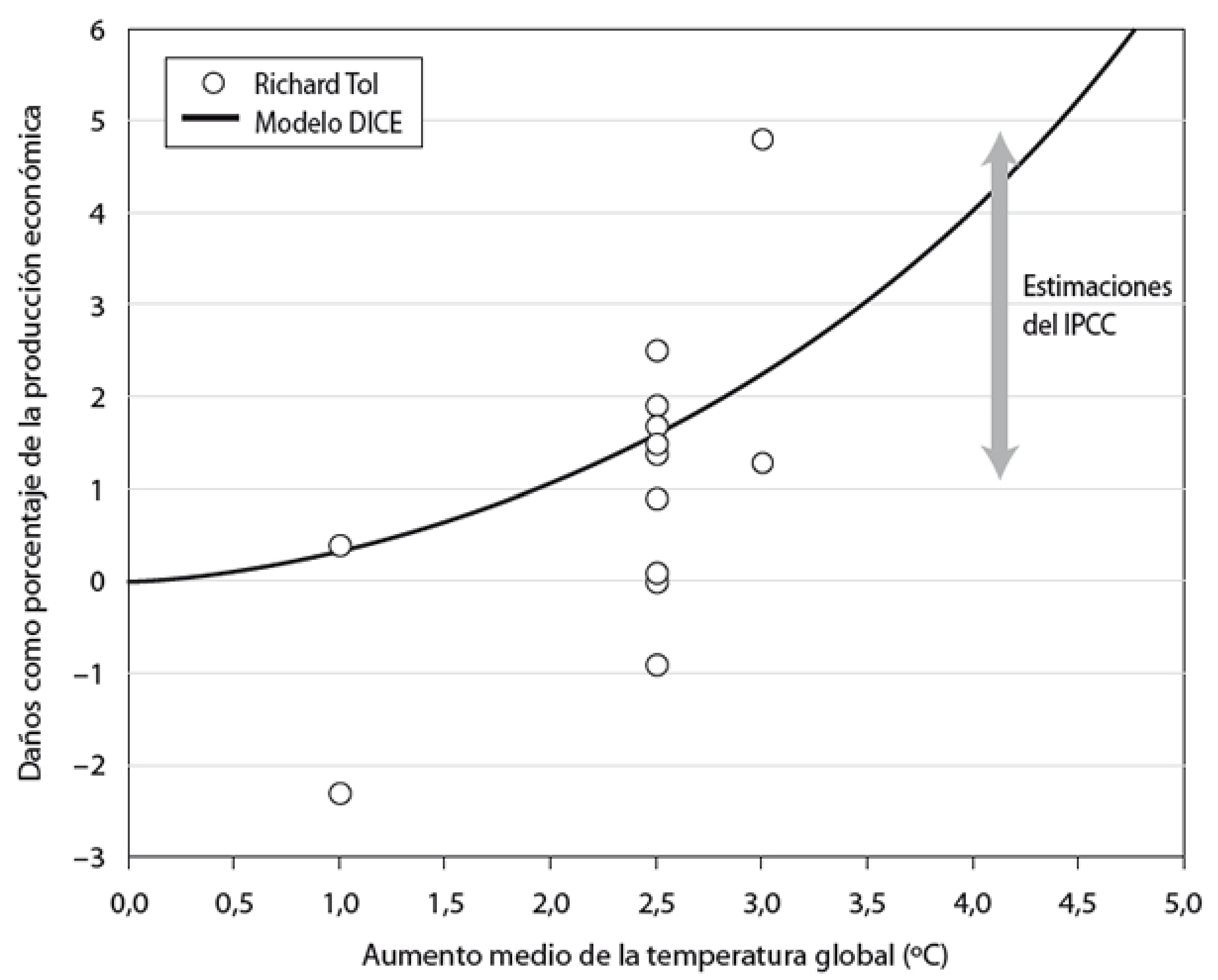
En las proyecciones económicas a largo plazo de los modelos de economía climática se asume que estas tendencias continuarán desarrollándose. Si, en efecto, éste es el comportamiento futuro de la producción, entonces las economías de mercado serán cada vez menos vulnerables al cambio climático, sobre todo en la medida en que la actividad cambie de la agricultura y otras actividades basadas en la explotación de la tierra a la industria y los servicios. Este patrón no está garantizado, pero es muy probable que se siga observando y, no lo olvidemos, supone un hallazgo crucial que facilita la resolución de los retos planteados por el cambio climático.

Haciendo balance de los daños

Los economistas han trabajado durante muchos años para estimar los daños agregados que provoca el cambio climático. Investigadores especializados se empeñan en recopilar todos los hallazgos disponibles, para cubrir todo tipo de estudios y analizar diferentes sectores y diferentes países. Existen estudios centrados en la agricultura, la silvicultura, la pesca, la energía, el aumento del nivel del mar o la salud humana. Inevitablemente, estos análisis se centran principalmente en las regiones para las que tenemos datos de mayor calidad, como Estados Unidos o Europa occidental. Las estimaciones para los países en desarrollo y para los sectores no comerciales abarcan una muestra más corta y menos completa.

La figura 22 muestra los resultados de un estudio exhaustivo de los daños agregados del cambio climático bajo diferentes escenarios de calentamiento. Los puntos indican los resultados de diferentes estudios compilados por un destacado académico en esta área, Richard Tol.[119]

FIGURA 22 **Estimaciones del impacto del calentamiento en la economía global**



Nota: El gráfico muestra una recopilación de estimaciones referidas al daño agregado causado por el cambio climático en distintos escenarios de aumento de las temperaturas. Cada punto recoge un estudio distinto. La línea muestra la función de daños estimada por el modelo DICE y la flecha muestra las estimaciones contenidas en los últimos trabajos del IPCC. Estos cálculos incluyen sólo parcialmente el daño causado en sectores y sistemas ajenos al mercado.

A partir de estos resultados podemos sacar algunas conclusiones relevantes. De entrada, vemos que, para el rango de cambio climático que se ha calculado, el impacto del calentamiento global es relativamente pequeño, puesto que el golpe más fuerte se limitaría al 5 por ciento de la producción. El escenario más cuidadosamente estudiado es el que estima 2,5 grados centígrados de calentamiento alrededor de 2070 y, para dicho supuesto, el coste en materia económica sería del 1,5 por ciento del PIB global.

La figura 22 presenta las estimaciones del modelo DICE como una línea continua. Estas estimaciones agregadas incorporan cálculos para varias cuestiones diferentes (declive agrícola, aumento del nivel del mar, incidencia de huracanes...) y toman los daños globales como porcentaje del PIB mundial bajo distintos escenarios de calentamiento. Eso sí: como hemos establecido anteriormente, estos resultados deben tomarse con cautela, debido a la dificultad de estimar los costes en áreas como la relacionada con la extinción de especies o ecosistemas.

La estimación final viene recogida por la flecha vertical que llega de 1 a 5 grados centígrados. Esta estimación proviene del rango planteado por el IPCC en su *III Informe de Evaluación* y se basa, en gran medida, en los mismos estudios analizados por Richard Tol. Por tanto, hablamos de una evaluación de los rangos de impacto considerados por los expertos.[120]

Por último, hay que tener en cuenta que los impactos se estiman como no lineales y convexos (con pendiente creciente). Algunos estudios encuentran que el primer grado de calentamiento puede tener beneficios económicos (como puede ocurrir en la agricultura, según lo explicado en el capítulo 7). Sin embargo, después de cierto punto, los daños comenzarían a aumentar y su crecimiento sería cada vez más brusco. Dicho de otro modo, cada grado adicional de calentamiento implica cada vez más costes económicos. Según las estimaciones de Richard Tol, el primer grado de calentamiento puede incluso ser beneficioso, sobre todo por el ya citado fenómeno de fertilización del CO_2 para la agricultura. No obstante, por encima de dichos niveles, el aumento de las temperaturas tiene un impacto cada vez más negativo y, de hecho, el coste de un incremento de 2 a 3 grados centígrados es dos veces mayor que el paso de 1 a 2 grados. Huelga decir que estas curvas de daño serían más pronunciadas si también se pudiese incorporar el impacto de los llamados «puntos de inflexión».[121]

La prima de riesgo del «casino del clima»

El *leitmotiv* que recorre este libro gira en torno a los peligros desconocidos que nos esperan a medida que el CO_2 y otros gases se acumulan en la atmósfera y el clima cambia respecto a los patrones conocidos. Algunos de estos peligros están bien identificados, como la sensibilidad del clima ante las acumulaciones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, otros peligros aparecen inesperadamente a medida que los científicos estudian más profundamente el tema.

Por este motivo, sigue habiendo muchas preguntas abiertas ligadas al futuro de las capas de hielo de Groenlandia y Antártida Occidental, al impacto del aerosol en los climas globales y regionales, a los riesgos de la descongelación de vastos depósitos de metano, a los cambios en los patrones de circulación de las corrientes del Atlántico Norte, a lo que puede significar el proceso de acidificación oceánica...

Nuestros modelos económicos tienen grandes dificultades para incorporar estos cambios geofísicos que, no obstante, son relevantes. Lamentablemente, con el conocimiento disponible no podemos estimar los impactos económicos de estos procesos de manera confiable. Esto nos complica la tarea de saber cuánto debemos invertir para estar asegurados ante el «casino del clima».

Para ilustrar los retos que entraña toda esta incertidumbre, podemos imaginar que los riesgos a gran escala funcionan como una suerte de ruleta rusa, sólo que de dimensiones planetarias. Cada año inyectamos más CO_2 en la atmósfera y hacemos girar la ruleta planetaria. Conforme la rueda se detiene, descubrimos si el resultado es favorable o dañino. En un supuesto, la evolución puede apuntar un leve aumento de las temperaturas. En otro, la subida es mucho mayor y más acelerada. La ruleta gira y gira, determinando en ocasiones algunos cambios a mejor pero también arrojando daños mucho peores de los que cabe anticipar. Hay un «cero» o un «doble cero»: la pérdida de especies o ecosistemas, el destrozo de ciudades declaradas Patrimonio de la Humanidad, etc. Un rápido colapso de la capa de hielo, un cambio en las corrientes oceánicas del Atlántico Norte o un proceso de acusada acidificación oceánica contribuyen a aumentar los daños.

Pero, además, esta ruleta es peor que la de cualquier casino, puesto que no conocemos bien su numeración y encontramos muchas más casillas rojas que negras. Además, los números pueden cambiar dependiendo del resultado de cada tirada y la acumulación de puntuaciones desfavorables genera daños más costosos, como resultado del aumento exponencial del daño que describen páginas anteriores. En el «casino del clima», los impactos totales son más que la suma de las tiradas individuales.

Ante este tipo de situación, una estrategia sensata sería la de asegurar, en la medida de lo posible, nuestros sistemas. Pero, para hacerlo, tenemos que calcular cuál es la prima de riesgo que nos permite blindarnos ante incertidumbres que en algunos casos son conocidas y en otros casos no están tan claras. ¿A cuánto asciende esa prima de riesgo? He aquí un tema que genera numerosas discusiones en la actualidad y sobre el que existe una amplia gama de opiniones, puesto que hay expertos que hablan incluso de estar preparados para soportar daños que tripliquen las estimaciones disponibles.

La importancia de tener cautela ante las estimaciones

Las estimaciones de los impactos del cambio climático que se presentan en estas páginas representan los mejores hallazgos científicos disponibles y conforman un acervo técnico indispensable para calcular qué políticas de cambio climático son económicamente eficientes. Sin embargo, deben utilizarse con gran precaución.

Personalmente, tengo distintas reservas ante las metodologías imperantes. De entrada, creo que es importante recordar que el grueso de las estimaciones disponibles se concentra en sectores de mercado, de modo que hablamos de ramas de la actividad humana en que los daños son menores. Por tanto, sabemos mucho de los daños que pueden darse en aquello que manejamos de forma efectiva, pero muy poco de otros campos en los que quizá no tenemos mucho que hacer.

También es importante entender lo que omiten los estudios referidos a estas cuestiones. Hay varios elementos pequeños, algunos negativos y otros positivos, que escapan a dichas evaluaciones: el impacto que tendrían las

políticas de adaptación en los gastos de energía (menos calefacción, más enfriamiento), el sector textil (el calentamiento reduce la necesidad de la ropa de invierno), los equipos para el hogar (neveras, congeladores...), el turismo (apertura de puertos del Ártico, menor demanda de visitas a zonas frías...), la pesca (descenso de los ingresos generados por dicha actividad), etc. En total, estos impactos que parecen aislados pueden sumarse y generar un coste económico más significativo de lo que podríamos suponer de un primer vistazo. Hay que enfatizar, pues, que existen esos costes adicionales, pero que su peso es menor y su naturaleza desagregada hace difícil realizar una estimación conjunta.

Otra cuestión de la que también tenemos que ser conscientes es la referida a impactos que son demasiado inciertos o difíciles de estimar de manera confiable. Páginas anteriores abordan las dificultades para calcular los impactos económicos de las pérdidas de especies y ecosistemas. Estimar algo así es muy complicado porque no existen baremos económicos referidos a esa merma de biodiversidad.

Igualmente, otros capítulos desarrollan la dificultad de evaluar los impactos de los puntos de inflexión que aceleran el calentamiento. Estos fenómenos entrañan cambios y consecuencias climáticas discontinuas, abruptas y, en muchos casos, desastrosas. Los impactos económicos de dichos procesos son difíciles de estimar y de pronosticar, puesto que ni siquiera el impacto físico puede ser concretado con claridad y porque muchas de las dimensiones que entrañan estos sucesos se sitúan fuera de los procesos del mercado. Estos desafíos se agravan, además, porque los efectos observados en los puntos de inflexión pueden amenazar fundamentos biológicos y físicos de las sociedades humanas y naturales. En este sentido, son similares a los debates existenciales sobre seguridad nacional, que parten siempre de lo difícil que es medir los costes y beneficios de diferentes estrategias. Con el conocimiento disponible, las ciencias físicas aún no pueden comprender con claridad los puntos de inflexión a gran escala. Una vez que se conozcan mejor, podremos intentar comprender los peligros que representan para los sistemas sociales y naturales, así como los pasos necesarios para evitar estos cambios geofísicos en la medida de lo posible.

A modo de conclusión

¿Qué debemos concluir después de realizar esta revisión de las estimaciones referidas a los impactos socioeconómicos del cambio climático futuro? El primer punto a destacar es la dificultad de calcular dichos impactos. Tenemos, de entrada, las incertidumbres propias de las proyecciones de emisiones y de los modelos climáticos. Además, incluso si pasamos por alto dichas sombras, desconocemos las reacciones que tendrán los seres humanos y otros sistemas vivos ante dichos procesos. Esas reacciones de los sistemas sociales son difíciles de pronosticar, puesto que son muy complejas y dependen de muchos factores. Además, los seres humanos gestionan cada vez más sus propios entornos, de modo que una pequeña inversión en medidas de adaptación podría compensar un impacto del cambio climático aparentemente peligroso para las comunidades humanas. Además, es casi seguro que los cambios climáticos se darán en el contexto de tecnologías y que las estructuras económicas diferirán enormemente de las actuales, de modo que los problemas de estimación son mayores conforme realizamos proyecciones de más largo plazo. Sin embargo, aunque nos toca mirar a través de un telescopio difuso, tenemos que asumir que ésas son las cartas que nos han tocado en el «casino del clima». Con esa mano tenemos que jugar lo mejor que podamos.

Otra cuestión que podemos concluir tiene que ver con el impacto del cambio climático en los sectores económicos que sí podemos analizar de forma más o menos confiable. La evidencia disponible nos dice que los países ricos de hoy o de mañana enfrentarán impactos relativamente pequeños, que van del 1 al 5 por ciento del PIB bajo el escenario del calentamiento de 3 grados centígrados. Esto se compara con un aumento del PIB por habitante que, durante dicho período, será de entre un 500 y un 1.000 por ciento en los países de renta media-baja. Por tanto, la pérdida de ingresos ocasionada por los desembolsos que exige la adaptación al cambio climático representa apenas uno o dos años de crecimiento en un contexto de décadas de continuo enriquecimiento progresivo.

Esta proyección sorprenderá a muchas personas. Sin embargo, se basa en el hallazgo de que los sistemas administrados son sorprendentemente resistentes a los cambios climáticos, siempre que tengamos el tiempo y los recursos necesarios para proceder a implementar estrategias de adaptación. Este hallazgo se aplica especialmente a las economías de mercado de altos ingresos, donde los sectores agrícolas son mucho más pequeños. Si bien a algunos les puede preocupar que esto condene a los países pobres a verse afectados por las crisis climáticas, esta preocupación pasa por alto el crecimiento económico subyacente que está presente en las proyecciones a futuro de dichos países y que también debe incorporarse en los modelos climáticos. En las últimas décadas, China e India, que poseen más de 2.500 millones de habitantes, han multiplicado por diez sus ingresos per cápita.[122] Un siglo de crecimiento similar dejará la renta media de sus poblaciones en el entorno de los 50.000 dólares, es decir, en niveles que hoy sólo pertenecen al mundo rico. Por tanto, es muy probable que la vulnerabilidad de los países pobres de hoy a los impactos del cambio climático disminuya significativamente hacia fines del siglo XXI.

Otra conclusión relevante es que los impactos más dañinos del cambio climático en sistemas humanos o naturales no administrados e inmanejables se encuentran fuera de los procesos de mercado convencionales. Hay cuatro áreas específicas de especial preocupación: el aumento del nivel del mar, la intensificación de los huracanes, la acidificación de los océanos y la pérdida de biodiversidad. Para cada uno de estos campos, la escala del cambio que puede llegar a darse está más allá de la capacidad de ajuste y contención que tenemos hoy los seres humanos. A esta lista debemos agregarle también las inquietudes sobre las singularidades del sistema terrestre y los puntos de inflexión: derretimiento de capas de hielo, inversión de corrientes oceánicas... Estos impactos no sólo son difíciles de medir y cuantificar, sino que también son difíciles de gestionar desde una perspectiva económica y/o de ingeniería. Pero decir que son impactos potenciales difíciles de cuantificar y de controlar no es lo mismo que decir que deben ignorarse. Al contrario, estos sistemas no administrados o no administrables son los que deben estudiarse con más cuidado, porque es probable que sean los más peligrosos a largo plazo.

Para poner todo esto en perspectiva, pensemos que el volumen total de hielo contenido en las capas de hielo que están en peligro de extinción es equivalente a 7.273.744.000.000.000.000 litros de agua. Esto supone mucho más líquido de lo que los seres humanos pueden almacenar de forma solvente. Las implicaciones que tiene tal cantidad de agua en lo relativo al aumento del nivel del mar o el repunte de la intensidad de los huracanes parecen más fáciles de entender cuando lo planteamos en estos términos. Al menos en esos casos cabe plantear medidas de ajuste sostenibles y financiables, mientras que la acidificación de los océanos o la pérdida potencial de un gran número de especies y ecosistemas son procesos mucho más difíciles de comprender y valorar. No podemos descartar que surjan tecnologías futuras que nos ayuden a gestionar estos procesos. Por ejemplo, tenemos encima de la mesa la ya citada patente de Bill Gates que ayudaría a modificar el desarrollo de los huracanes. Pero hablamos, en cualquier caso, de aspectos complejos que no será fácil administrar.

Dado lo que sabemos acerca de los impactos climáticos, ¿hay un límite natural que deberíamos fijar como máximo aumento tolerable de las temperaturas? En términos de diseño de medidas políticas, sería útil poder simplificar la conversación fijando un objetivo preciso que limite el calentamiento permitido. Los científicos y formuladores de políticas reunidos en la Cumbre de Copenhague de 2009 determinaron que 2 grados centígrados serían el máximo aumento de las temperaturas que se podría admitir para no introducir excesivos riesgos en los sistemas terrestres.

¿Qué podemos decir hoy en día sobre dicho objetivo? A la luz de los nuevos estudios e investigaciones que aparecen analizados de forma equilibrada y somera en este libro, puede decirse que el umbral de los 2 grados centígrados es insuficiente desde las dos perspectivas que se pueden asumir: la del coste y la del beneficio. Desde el punto de vista del beneficio medioambiental, los 2 grados centígrados son un punto demasiado bajo que no evita daños peligrosos. Desde el punto de vista del coste, limitar el calentamiento a los 2 grados centígrados supone un umbral excesivamente alto, como se explica en la tercera parte del libro.

¿Cómo podemos resolver este dilema? La respuesta radica, principalmente, en la aminoración de los costes. Tenemos que conjugar la desaceleración del cambio climático con una reducción del precio que tenemos que pagar para conseguir dicho objetivo. Hay que buscar, pues, un equilibrio óptimo, bajo el cual podamos preservar el medio ambiente sin experimentar grandes renuncias y pérdidas en nuestros estándares de vida presentes y futuros.

Tercera parte

Frenar el cambio climático. Estrategias y costes

> Las apuestas son una forma segura de entregar algo a cambio de nada.
>
> Wilson Mizner

13

Lidiando con el cambio climático. Adaptación y geoingeniería

En los capítulos anteriores se explica cómo el crecimiento descontrolado de las emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero está provocando grandes cambios en los sistemas climáticos y en los sistemas humanos y naturales. Es probable que la mayoría de los cambios ocurran gradualmente, como un tren de carga que va cogiendo velocidad. Sin embargo, no podemos predecir los impactos con precisión y sí sabemos que sus golpes son inoportunos, en el mejor de los casos, y peligrosos, en los peores escenarios. Al igual que ocurre con un tren de carga que se acelera significativamente, poner freno a dichos impactos es más difícil conforme sus dinámicas llevan más tiempo en marcha.

Los capítulos de la tercera parte del libro consideran cuáles son los pasos necesarios para enfrentar la amenaza del cambio climático. Hay tres enfoques principales. Un primer enfoque es el de la adaptación, que implica aprender a lidiar con un mundo más cálido en lugar de prevenir dicho calentamiento. La adaptación es la respuesta defendida por aquellos que se oponen a tomar medidas costosas para frenar el cambio climático, así como por aquellos que creen que los efectos del calentamiento probablemente serán más pequeños de lo que a veces se teme, pero, en cualquier caso, hablamos de una estrategia que también incorporan otros puntos de vista.

Un segundo enfoque es el de la geoingeniería, que busca compensar el calentamiento inducido por el CO_2 mediante la introducción de elementos de refrigeración. Es probable que la geoingeniería sea, al menos, una respuesta parcialmente efectiva, pero el grueso de sus soluciones no están probadas y, de hecho, su aplicación puede tener efectos secundarios peligrosos.

El tercer enfoque, a menudo conocido como «mitigación», consiste en diseñar acciones concretas para reducir las emisiones y aminorar concentraciones atmosféricas de CO_2 y otros GEI. La mitigación ha sido el foco que ha centrado las negociaciones climáticas internacionales y es la postura más segura desde un punto de vista ambiental. Sin embargo, también es el camino más caro para el corto plazo y, por lo tanto, la respuesta al calentamiento más difícil de aplicar.

Antes de entrar en una discusión sobre las estrategias alternativas, proporcionaré un resumen sucinto de los resultados. La evidencia económica sugiere que sería relativamente barato retrasar el cambio climático si los distintos países del mundo aplican estrategias de control eficientes, oportunas y globales. Entre los pasos necesarios encontramos el desarrollo de nuevas tecnologías o el aumento del precio de las emisiones de carbono como incentivo para reducir las mismas. El grueso, por tanto, es explorar mecanismos económicos que han funcionado eficazmente en todo el mundo durante muchos años. Eso sí: que algo sea cierto y probado no significa que sea popular. De hecho, en este caso se trata de una solución difícilmente alcanzable, al menos si se pretende hacer de esta vía la única estrategia activa de lucha contra el calentamiento. La quinta parte del libro habla con detalle de estas cuestiones.

El grueso de esta tercera parte se ocupa de las estrategias de mitigación. Explora las técnicas, la necesidad de una alta participación, las estimaciones del coste de la mitigación y el papel de las nuevas tecnologías. Pero antes de entrar en la mitigación propiamente dicha, este capítulo se centra en los cantos de sirena que simplemente pretenden abordar este reto desde la adaptación o la geoingeniería. Ambos enfoques parecen muy atractivos a primera vista, en la medida en que entrañan la fórmula más económica de alcanzar nuestros objetivos medioambientales. Sin embargo, aunque son caminos que sin duda pueden contribuir a suavizar los golpes, no hablamos de soluciones capaces de contrarrestar los impactos dañinos de la acumulación de carbono y del cambio climático. La adaptación y la geoingeniería pueden ser parte de una estrategia de gestión de riesgos, pero no eliminan amenazas significativas e inaceptables que se derivan del calentamiento.

Adaptación: aprender a vivir con el cambio climático

Si los modelos climáticos son correctos en sus proyecciones, el mundo cambiará dramáticamente a lo largo del próximo siglo y más allá. Los capítulos anteriores resumen algunos de los impactos clave de estos procesos: el aumento en el nivel de los mares, la acidificación de los océanos, el derretimiento de las capas de hielo, la mayor intensidad de las tormentas, los cambios en las zonas agrícolas, el deterioro ecológico... Algunas personas piensan que deberíamos aprender a vivir con estos cambios en lugar de tomar medidas costosas que ayuden a prevenirlos. Dicho de otro modo, proponen que, ante todo, nos adaptemos al cambio climático, en lugar de intentar prevenirlo.

El término «adaptación» se refiere a aquellos ajustes que pueden evitar o reducir los impactos perjudiciales del cambio climático en los sistemas humanos y naturales. Por ejemplo, los agricultores podrían cambiar sus cultivos, adaptar fechas de siembra, diseñar nuevos sistemas de riego... De igual modo, si las olas de calor se vuelven más frecuentes, las personas pueden instalar aire acondicionado y soluciones similares. En casos así, la adaptación puede reducir los impactos a prácticamente nada. El problema es que, en otros casos, la adaptación sirve poco o nada al propósito de enfrentarse a los retos que entraña el calentamiento.

Además, la adaptación rara vez es gratuita. Los agricultores tienen que invertir dinero para trabajar con un clima más seco. Los hogares se ven obligados a desembolsar sumas importantes para equiparse con sistemas acondicionadores de aire. No obstante, las estimaciones para Estados Unidos sí señalan que la adaptación a un aumento de entre 2 y 3 grados centígrados puede compensar el grueso del daño potencial esperado para las personas y las empresas.[123]

En otras áreas, incluyendo los sistemas no gestionados o los sistemas cuya gestión escapa al hombre, las adaptaciones se antojan extremadamente costosas o directamente imposibles. En el caso del aumento del nivel del mar, bombear el exceso de agua de vuelta a la Atlántida implicaría trasladar 3.636.872.000.000.000.000 litros cada año, lo que supondría costes astronómicos.[124] De igual modo, podríamos tratar de almacenar el ADN de

especies amenazadas hasta que las nuevas biotecnologías puedan regenerarlas, pero no hay garantía de que esto último llegue a ser una realidad. Por tanto, en el caso de los sistemas no administrados o no administrables, la adaptación es, en el mejor de los casos, una solución incompleta que no responde a los vastos cambios que, probablemente, tendrán lugar en los próximos siglos.

Los especialistas subrayan dos puntos fundamentales relativos a la adaptación. Por un lado, insisten en que la adaptación es local, mientras que la prevención es global. El calentamiento se evita reduciendo las emisiones en todo el mundo. No sirve de nada que tomemos pasos a nivel micro si no hay una estrategia coherente a nivel macro. Por otro lado, los beneficios de la adaptación llegan sólo a quienes la implementan. Si un agricultor cambia los cultivos o instala un sistema de riego, el agricultor paga por la adaptación y, posteriormente, se beneficia del nuevo modelo operativo. Si traslado mi residencia frente al mar a un lugar alejado de la amenaza de huracanes, asumo el coste y me beneficio a largo plazo con el mantenimiento de la residencia vacacional. Obviamente, los gobiernos pueden ejercer algún papel (subsidiando o facilitando las adaptaciones) y las decisiones de adaptación también conciernen a terceros (pueden afectar a vecinos o alterar ciertos mercados), de modo que el análisis coste-beneficio no puede realizarse de forma integral echando un vistazo a las estrategias asumidas por cada agente implicado. Sin embargo, es justo decir que la naturaleza local de la adaptación implica que la mayoría de las decisiones pueden tomarse a nivel local, o tal vez nacional, en lugar de a nivel mundial.

La adaptación es algo completamente diferente de la mitigación, la geoingeniería o la eliminación de carbono. Pone el énfasis en «vivir con el cambio climático», mientras que las otras opciones enfatizan la prevención del mismo. Podemos usar una analogía con los incendios. Supongamos que vivo en una remota casa de montaña ubicada en Nuevo México. Supongamos también que mi residencia se ubica en una zona de alto riesgo de incendio, puesto que está localizado cerca de un bosque susceptible de sufrir un incendio forestal.

Ante este supuesto, podemos considerar la prevención o la adaptación. La prevención implica limpiar las arboledas cercanas a la casa, diseñar techos de metal, mantener el jardín libre de materiales combustibles... El objetivo de estos pasos es evitar que mi casa se queme. Otro enfoque podría ser el de quienes directamente optan por prepararse para el incendio. Esto significa un plan de evacuación, el traslado de los objetos de valor a un lugar remoto y seguro, el seguimiento de las informaciones sobre incendios en la zona... Esta estrategia implica adaptarse a la posibilidad de que sí ocurra un incendio. Si bien ambas son opciones sensatas, y la mayoría de las personas deberían incorporar ambas en su estrategia, también es cierto que se trata, al final del día, de enfoques fundamentalmente diferentes.

Es probable que la adaptación sea una parte necesaria y útil de la cartera de acciones que debemos considerar si queremos reducir los peligros del calentamiento global. Pero la adaptación es un complemento, no un sustituto, de la mitigación. En áreas que están manejadas en gran medida por los seres humanos, como la atención médica o la agricultura, la adaptación puede eliminar muchos de los impactos perjudiciales. Sin embargo, una mirada cuidadosa revela que algunos de los peligros más importantes son inmanejables y, por tanto, no pueden eliminarse mediante la adaptación. En dicha situación están efectos tales como la carbonización de los océanos o la pérdida de especies o ecosistemas. La única manera segura de evitar tales peligros a largo plazo es reducir el CO_2 y demás concentraciones de GEI.

Geoingeniería para contrarrestar el calentamiento

Confiar únicamente en la adaptación a la hora de hacer frente al cambio climático no es una opción recomendable. Sin embargo, ¿es posible que las tecnologías modernas puedan reducir o detener el calentamiento global? ¿Podemos contener el cambio climático mediante intervenciones que alteran la física o la química de la Tierra? Estos enfoques se conocen como «geoingeniería».

Por lo general, el ámbito de la geoingeniería abarca dos categorías: técnicas que eliminan el CO_2 atmosférico y técnicas de gestión que actúan sobre la radiación solar reflejada por la luz y el calor en su viaje de regreso al espacio.[125] En los párrafos que siguen me centraré en la segunda vertiente, puesto que la primera (relacionada con la opción de la eliminación de CO_2) es realmente atractiva y merece una discusión más detallada que viene recogida en capítulos posteriores.

El principio que subyace a la gestión de la radiación solar es el de reducir o revertir el calentamiento a base de cambiar el balance energético de la Tierra. Un proceso así hace que la Tierra sea «más blanca», o «más reflexiva». El efecto de enfriamiento compensará el calentamiento que proviene de la acumulación de CO_2 en la atmósfera. Se trata de un proceso similar a los cambios que se producen después de las grandes erupciones volcánicas. Por ejemplo, en 1991, después de que el volcán Pinatubo expulsara 20 millones de toneladas de partículas a la estratosfera, las temperaturas globales cayeron aproximadamente 0,4 grados centígrados. Se puede decir, en cierto modo, que la geoingeniería crea erupciones volcánicas artificiales y que contrarrestar los efectos de la acumulación de CO_2 exigiría desarrollar anualmente entre cinco y diez erupciones artificiales similares a las del Pinatubo.

En los últimos años hemos conocido muchas propuestas de geoingeniería centradas en actuar a través de la gestión de la radiación solar. Algunas implican, literalmente, hacer que la Tierra sea más blanca (por ejemplo, empleando techos y caminos de dicho color). Por ejemplo, podríamos aumentar artificialmente los aerosoles de sulfato existentes en la estratosfera y así aumentar el albedo o la blancura planetaria, lo que reduciría la radiación solar. Los científicos especializados en el clima han calculado que reflejar alrededor del 2 por ciento de la producción solar podría compensar el efecto de calentamiento derivado de una duplicación de la concentración de CO_2. Conseguir el número adecuado de partículas en el lugar correcto ayudaría a reducir la radiación solar y contribuiría a enfriar la Tierra hasta los niveles deseados.

Las estimaciones de costes indican que, si estos proyectos tienen éxito, la geoingeniería acarrea muchos menos costes que la reducción de emisiones de CO_2. Los cálculos actuales indican que la geoingeniería costaría entre diez y cien veces menos. Por eso, en términos económicos, es útil verla como una salida esencialmente gratuita. Los principales problemas relacionados con este enfoque tienen que ver con su efectividad y sus efectos secundarios.

En la actualidad, no se han realizado experimentos de geoingeniería a gran escala (excepto los propios volcanes), por lo que las estimaciones de impacto y los informes referidos a los posibles efectos secundarios se basan en modelos computacionales. La principal preocupación que despierta esta alternativa es que la geoingeniería no supone realmente una compensación del efecto invernadero. Las pequeñas partículas o espejos reducen la radiación entrante, mientras que el efecto invernadero disminuye la radiación saliente, de modo que el resultado final sería un calentamiento neto nulo, aunque con efectos muy diferentes desde el punto de vista de la física.

Para entenderlo mejor, imaginemos que encendemos el aire acondicionado de nuestro hogar durante una ola de calor. Tal vez en casa tendremos la misma temperatura que en un día normal, pero algunas de las habitaciones puede que sean más frías y otras más cálidas y el esfuerzo nos supondrá un gasto notable en la factura de la luz.

Entonces, ¿cuáles son los efectos netos del calentamiento combinado de CO_2 y el enfriamiento vía geoingeniería, a veces conocido como enfriamiento de «espejo pequeño»? Los estudios realizados indican que esta vía no resuelve el problema de la acidificación de los océanos, puesto que alterar el balance de energía de la Tierra tiene poco impacto en las concentraciones de CO_2 en la atmósfera.

El análisis de los modelos climáticos que se han realizado hasta la fecha nos sugiere que, con la dosis adecuada, el planeta puede llegar a enfriarse hasta los niveles actuales mediante la inyección de partículas reflectantes en la atmósfera. Sin embargo, estos mismos modelos sugieren algunos efectos secundarios importantes. Por ejemplo, la física fundamental predice una disminución general de las precipitaciones, que también viene confirmada

por el modelado de este tipo de alternativas. Dicho de otro modo, si aplicamos geoingeniería, puede que frenemos el aumento de las temperaturas pero no mantendremos intactos los niveles de precipitaciones. De hecho, un estudio determina que el uso de aerosoles estratosféricos mejorados modificaría los monzones del verano en Asia y África, con todo lo que eso implica para dichas regiones.[126]

Por otra parte, la gestión activa del clima puede crear un nuevo conjunto de problemas políticos. En el mundo de hoy, donde todos somos culpables de causar el calentamiento global, nadie puede ser responsabilizado de forma clara. Sin embargo, si ciertos países se involucran en una gestión activa del clima, entonces todas las partes deberán negociar una estrategia de geoingeniería de alcance global. Así, dicho esquema podría incluso requerir la aprobación de algún tipo de mecanismo de compensación para aquellas regiones que puedan salir perjudicadas por la aplicación de estas recetas.

Esto nos lleva a una advertencia que debemos hacer a la hora de considerar los aspectos estratégicos de la geoingeniería. Hablamos de una disciplina cuyos usos son potencialmente destructivos o constructivos. Se puede usar benignamente para enfriar la Tierra, pero también se puede usar maliciosamente para destruir la cosecha de otro país. Esta perspectiva de la guerra climática fue enfatizada por el fundador de la teoría de juegos, John von Neumann:

> Los esquemas más constructivos de control del clima deberían basarse en ideas y técnicas que también se presten a formas de guerra climática que aún nos resultan inimaginables [...]. A menudo conocemos técnicas que son, a la vez, útiles y dañinas. Están tan cerca de hacer el bien y de hacer el mal que a veces no parece posible separar a los leones de los corderos. Por ejemplo, ésa es la realidad conocida por los expertos dedicados a separar la ciencia y la tecnología secreta o militar de sus ramificaciones civiles o abiertas. Si insistiésemos en impedir que la tecnología tuviese una vertiente potencialmente negativa además de su incidencia teóricamente positiva, probablemente no habría ningún adelanto en la próxima década.[127]

La geoingeniería se parece a lo que los médicos llaman «terapia de choque», un tratamiento potencialmente peligroso que se emplea cuando todo lo demás falla. Los médicos recetan la terapia de choque a personas que están muy graves y para las que no hay tratamientos disponibles cuya peligrosidad sea menor. Ningún médico responsable prescribe la terapia de

choque a un paciente que acaba de ser diagnosticado con una enfermedad tratable que está en una etapa inicial. De modo similar, ningún país responsable debería emprender la geoingeniería como primera línea de defensa contra el calentamiento global.

La geoingeniería es particularmente valiosa porque es una terapia de choque: se puede acudir a ella en situaciones de extrema necesidad. En este sentido, es como un camión de bomberos, en lugar de un seguro antiincendios. Y como tal, puede acudir al rescate y ayudarnos a reducir o revertir el calentamiento rápido y potencialmente peligroso. Pero esta vía no es ninguna panacea. Aunque un camión de bomberos puede apagar el incendio, probablemente no puede evitar que los daños previos a su llegada sean cuantiosos. Por tanto, aunque la geoingeniería es útil para afrontar una emergencia grave en una situación tardía, no puede ser el enfoque de partida para enfrentar el cambio climático.

Dicho de otra manera, es prudente contar con una cartera de medidas que abarque políticas más estructurales que las que encierra la geoingeniería. Desafortunadamente, muchas personas evitan las investigaciones serias sobre geoingeniería, temen que considerarla conlleva un «riesgo moral». Con dicho término se pretende decir que confiar en la geoingeniería «maquilla» el tema central del calentamiento: la necesidad de reducir el CO_2 y otras emisiones de GEI.

El riesgo moral está presente en muchas políticas gubernamentales, pero su fuerza aquí es, probablemente, exagerada. Los bomberos, los bancos centrales, los servicios de rescate en las estaciones de montaña... Todo eso reduce la vulnerabilidad ante riesgos previsibles y, el mero hecho de que existan dichas soluciones, puede alentar en algunos casos la toma de riesgos. Sin embargo, a fin de cuentas, parece mejor una sociedad en la que tenemos dichas salvaguardias que una que carece de dichas protecciones.

Una ponderación cuidadosa de los costes y los beneficios de la geoingeniería sugiere que su implementación reduciría los riesgos de los resultados climáticos más peligrosos, pero dejaría muchos problemas sin resolver y podría tener efectos secundarios peligrosos. Por tanto, lo preferible es, ante todo, reducir las emisiones y concentraciones de CO_2. Ésa tiene que ser la principal vía de actuación. La geoingeniería es una

terapia de choque sobre la que tenemos que investigar más y con la que tenemos que experimentar de forma cautelosa. Para que así sea, es importante que los distintos gobiernos del mundo regulen esta cuestión y la sometan a algún tipo de gobernanza que evite que uno u otro gobierno desarrollen este tipo de técnicas en beneficio propio y detrimento del planeta en su conjunto.[128]

14

Reducción de emisiones y mitigación del daño

En los anteriores capítulos hemos puesto de manifiesto que ni la adaptación ni la geoingeniería son una solución satisfactoria a las amenazas del calentamiento global. La única respuesta genuina para el largo plazo es revertir la acumulación de gases de efecto invernadero. Esta vía suele denominarse «mitigación» o, en ocasiones, «prevención».

La mitigación implica reducir las concentraciones de emisiones de GEI. El GEI más importante es el CO_2, producido principalmente por la quema de combustibles fósiles. Existen otros GEI de larga vida, como el metano, que es el gas natural que calienta nuestros hogares. Otros GEI son de corta duración, por ejemplo los llamados aerosoles.

Los científicos estiman que una duplicación del CO_2 atmosférico conduciría a un aumento del calentamiento de la superficie terrestre estimado en 3,8 vatios por metro cuadrado. Esta cantidad supone la centésima parte de la radiación que la Tierra recibe del sol.

En 2011 el total de emisiones producidas por el hombre desde 1750 ascendía a 2,4 vatios por metro cuadrado. Dicho proceso es la suma de distintas dinámicas. El mayor contribuyente individual fue el CO_2, con 1,7 vatios por metro cuadrado, frente a 1,1 en el caso del metano. Por lo general, las contribuciones del CO_2 y otros gases de larga duración están bien medidas, de modo que podemos confiar en estos cálculos.

Por el contrario, hay otros factores que generan calentamiento y no se pueden medir de forma más certera. El mejor ejemplo son los aerosoles. Provienen, en gran parte, de la operatividad de las centrales eléctricas y de la quema de biomasa. Las mejores estimaciones que se han realizado sugieren que las emisiones de aerosoles contribuyeron en 0,7 vatios por

metro cuadrado. De manera que, aunque su incidencia es menor, los aerosoles también tienden a enfriar la Tierra y desencadenar las fuerzas de calentamiento.

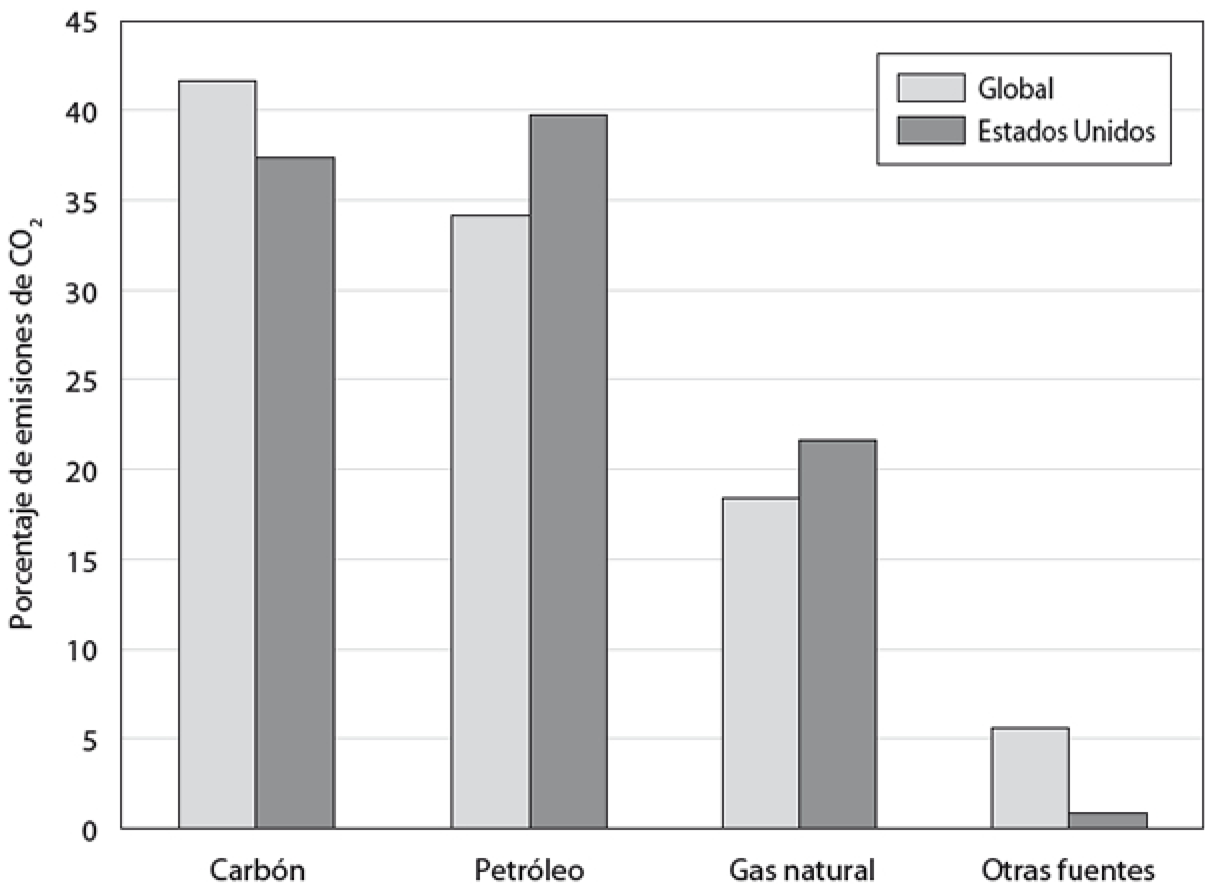
De cara a 2100, buena parte de las estimaciones disponibles alertan de que el CO_2 será el principal factor que empuje al alza el calentamiento global. El grado de contribución de otros gases, especialmente los aerosoles, se sitúa en escenarios altamente especulativos. Esto es así, por ejemplo, porque no sabemos cuánta energía generará el carbón o porque no sabemos qué ocurrirá con las plantas que contribuyen a fijar parte de ese CO_2.

En las páginas siguientes, en aras de la simplicidad, el grueso de la conversación se centra en las emisiones de CO_2. Entender su trayectoria ayuda a captar los problemas esenciales del cambio climático. Por otro lado, incorporo algunos otros factores, aunque sólo de forma complementaria.[129]

¿De dónde proceden las emisiones de CO_2?

La tarea de reducir las emisiones de CO_2 es compleja. Puede parecer sencillo: a priori, se trata de que usemos menos combustibles fósiles o que encontremos una manera de eliminar las emisiones de CO_2 generadas por su uso. En la figura 23 vemos los principales factores que empujan al alza las emisiones de CO_2.[130] El carbón y el petróleo suponen, respectivamente, entre el 35 y el 40 por ciento del total. Por su parte, el gas natural aporta la quinta parte de las emisiones. Los porcentajes observados en Estados Unidos difieren poco de los del resto del mundo. Hay otros sectores que emiten CO_2, como la producción de cemento para la actividad constructiva, pero es más útil centrarse en los combustibles fósiles, donde los riesgos económicos son mayores y la contribución al calentamiento es también más significativa.

FIGURA 23 **Fuentes de emisiones de CO_2, 2010**



Nota: El gráfico muestra el porcentaje de emisiones de CO2 del carbón, el petróleo, el gas natural y otras fuentes. Las cifras son globales y de Estados Unidos.

La figura 23 muestra los volúmenes alcanzados por las emisiones de CO_2. También nos permite examinar el valor económico relativo de todas estas fuentes de CO_2. Para hacerlo, se analiza el valor en dólares de las actividades producidas con esas emisiones. Algunos combustibles son más caros que otros. Por ejemplo, cuando usamos gasolina para mover nuestros automóviles, la cantidad de CO_2 emitida por los mismos es relativamente baja por cada dólar invertido. Por el contrario, cuando una compañía eléctrica quema carbón, la cantidad liberada de CO_2 es alta por cada dólar invertido.

Por cada 1.000 dólares gastados en combustible, se estiman las siguientes emisiones de CO_2:

- El petróleo emite 0,9 toneladas de CO_2 por cada 1.000 dólares de combustible.

- El gas natural emite 2 toneladas de CO_2 por cada 1.000 dólares de combustible.
- El carbón emite 11 toneladas de CO_2 por cada 1.000 dólares de combustible.

Los resultados son sorprendentes. El carbón genera aproximadamente seis veces más emisiones de CO_2 por cada dólar de coste que el gas natural. Con el petróleo, la diferencia es aún más acusada, de 12 a 1. Por tanto, el carbón es un combustible muy económico por unidad de energía, pero tiene el inconveniente de que libera mucho CO_2 por cada dólar de gasto.[131]

La economía de las emisiones mostrada en la lista anterior tiene implicaciones importantes. Sugiere que la forma más asequible de reducir las emisiones de energía es aminorar el uso de carbón. Para confirmar esta intuición es preciso realizar también un análisis económico que estudie los costes de capital y mano de obra involucrados en el uso de diferentes combustibles. Sin embargo, este resultado preliminar se mantiene cuando realizamos ese escrutinio más cuidadoso, tal y como reflejan páginas posteriores. Pero, de momento, merece la pena insistir en esta cuestión: la manera más rentable de aminorar las emisiones de CO_2 es conseguir una reducción en el uso del carbón.

Las emisiones de CO_2 desde la perspectiva del hogar

Para que la discusión pase de lo abstracto a lo cotidiano, merece la pena analizar la situación de un hogar estadounidense medio. Podemos calcular las emisiones de los hogares dividiendo el total nacional entre los 115 millones de hogares del país norteamericano. En la tabla 6 se recogen las emisiones de CO_2 por hogar derivadas de distintas actividades.[132] La conducción supone el principal factor generador de emisiones, con 8 toneladas por año. La calefacción y el aire acondicionado tienen también un peso notable. Todas las fuentes analizadas ascienden a una media de 20 toneladas anuales por cada hogar.

Pero este cálculo sigue sin incluir 32 toneladas generadas anualmente en otro tipo de actividades. Y es que las emisiones de CO_2 están presentes también en la producción de los bienes y servicios que luego empleamos los ciudadanos. El acero empleado para construir nuestros muebles viene del carbón, que libera CO_2. El gas natural que calienta nuestros hospitales también emite CO_2. El trigo con el que se hace el pan que almorzamos a diario se extrae con tractores que emplean diésel.

Sin embargo, no todas las actividades son igualmente intensivas en CO_2. La generación de electricidad a base de carbón es la mayor fuente de emisiones de CO_2 en Estados Unidos, por lo que las actividades que dependen en gran medida de este *input* son también algunas de las más intensivas en CO_2. Pero hay otras actividades intensivas en CO_2, como la producción de cemento, hierro y acero. Y sólo estamos hablando de CO_2, de modo que no consideramos otros GEI que también inciden en el clima. Un buen ejemplo es el metano liberado por los procesos de fermentación que alimentan al ganado. Hasta el vaso de leche que bebemos por la mañana ha contribuido por esa vía a generar un proceso de calentamiento.

TABLA 6 **Emisiones producidas por distintas actividades, medidas según la cuota media que correspondería a cada uno de los 115 millones de hogares de Estados Unidos, con datos de 2008**

Uso final	Emisiones de CO2 por hogar(en toneladas, 2008)	Porcentaje del total de emisiones
Conducción automovilística	7,9	15,2
Calefacción	3,2	6,2
Transporte aéreo	1,6	3,0
Aire acondicionado	1,3	2,5
Calentador de agua	1,3	2,5
Iluminación	1,1	2,2
Refrigeración	0,8	1,5
Aparatos electrónicos	0,8	1,5
Limpieza	0,5	1,0
Ordenadores	0,1	0,2
Otros (incluida la producción de bienes y servicios consumidos por los hogares)	33,4	64,3
TOTAL	**51,9**	**100**

La conducción es la actividad doméstica que genera más emisiones. Sin embargo, el grueso de las emisiones se produce por la vía indirecta, en la producción de bienes y servicios consumidos por los ciudadanos.

¿Qué sectores están relativamente libres de CO_2 o tienen el menor impacto climático por unidad de gasto? Las emisiones por dólar de producción son más bajas en los servicios. Por ejemplo, los servicios de salud, de arquitectura, de contabilidad, de seguros, de finanzas o de asesoramiento legal representan un 80 por ciento menos de emisiones que la economía en su conjunto. Puede que los bancos no sean nuestros negocios favoritos..., pero al menos tienen la virtud de tener una huella de carbono relativamente pequeña.[133]

Tecnologías para reducir las emisiones de CO_2

Supongamos que decidimos reducir las emisiones y concentraciones de CO_2. ¿Cómo haríamos esto? Los principales enfoques que conocemos son los siguientes:

- Frenar el crecimiento global de la economía. Por ejemplo, durante la recesión de 2009 las emisiones de Estados Unidos disminuyeron un 7 por ciento. El decrecimiento es, no obstante, muy doloroso para el bienestar socioeconómico de las personas, de modo que este discurso apenas cuenta con adeptos y debe ser descartado.
- Reducir el consumo de energía. En la tabla 6 vemos que actuar sobre la conducción o el calentamiento de los hogares ofrece fórmulas para aminorar, en parte, las emisiones. Sin embargo, no hablamos de un recorte drástico y, en cambio, sí hablamos de alterar drásticamente nuestro estilo de vida.
- Reducir la intensidad de carbono en la producción de bienes y servicios. No se trata de cambiar el «porqué» de los procesos productivos, sino de mejorar el «cómo». Por ejemplo, si cambiamos las fuentes de los procesos de generación de electricidad (gas natural por carbón) las emisiones de CO_2 derivadas de dicha actividad caerían a la mitad. Podríamos incluso buscar la generalización de la energía eólica y, por esta vía, llegar a una electricidad completamente limpia de emisiones de CO_2. Probablemente éste es el mejor camino de todos: cambiando las tecnologías y los procesos de producción podemos conseguir una economía menos contaminante y, gracias a las nuevas tecnologías, podremos acomodar el ajuste en términos de coste.
- Eliminar el carbono de la atmósfera. Este enfoque se centra en la eliminación de CO_2 que ya se ha emitido y acumulado después de la combustión. Hay varias estrategias disponibles, pero la mayoría parecen caras y exigen programas de gran escala, como se explicará más adelante, lo que complica este tipo de soluciones.

Estos enfoques no son nuevos. Todos han sido analizados de forma exhaustiva por expertos en estas cuestiones y el lector tiene a su disposición numerosos volúmenes especializados en cada una de estas vías de acción contra el cambio climático.[134] Pero, para entender mejor la mitigación, es conveniente conocer ejemplos ilustrativos de este tipo de estrategias. Por tanto, en este capítulo se analizan supuestos varios, algunos pensados para

el corto plazo y otros para un horizonte temporal más lejano. Además, se consideran también los avances tecnológicos potenciales que pueden ayudarnos a jugar mejor nuestras cartas en el «casino del clima».

Ya hemos establecido que el gas natural es el más limpio de los combustibles fósiles, puesto que su quema para la generación de electricidad emite aproximadamente la mitad de CO_2 por kilovatio/ hora (kWh) que el carbón. Que un mayor porcentaje de nuestra electricidad provenga del gas natural es una forma efectiva de reducir las emisiones de CO_2. De acuerdo con informes de expertos (ver tabla 14), las nuevas centrales de ciclo combinado de gas natural producen electricidad de forma menos costosa que las nuevas centrales de carbón. Por ejemplo, el coste total de la electricidad de una nueva planta de carbón convencional se estima en 9,5 céntimos por kWh, mientras que el coste de una estación de gas natural se estima en 6,6 céntimos por kWh. Al mismo tiempo, las emisiones de CO_2 por kWh de una planta de carbón son aproximadamente dos veces mayores que las de una planta de gas natural.[135]

Naturalmente, uno podría preguntarse por qué Estados Unidos genera tanta electricidad a partir del carbón si es tan caro recurrir a esta fuente de energía. La respuesta es que los costes del carbón a corto plazo son mucho más bajos que los del gas. ¡Para las plantas existentes, los costes de generación del gas natural son dos veces mayores que los del carbón! La diferencia entre el largo y el corto plazo es el alto coste de capital que exige desarrollar una nueva planta. Sin embargo, una vez se asume esa inversión, hablamos de pasar de 9,5 a 6,6 céntimos. Por tanto, no es sorprendente que la mayoría de las nuevas instalaciones construidas en Estados Unidos sean de gas y no de carbón, si bien el efecto de dichos procesos tardará un tiempo en quedar patente, sobre todo si no hay regulaciones ambientales o impuestos verdes que aceleren la transición de un modelo a otro.

¿Qué hay de la eliminación de CO_2 acumulado en la atmósfera? Los procesos naturales tienen ese poder y, en el más largo plazo, eliminarán la mayor parte del CO_2 que las actividades humanas están expulsando a la atmósfera. Sin embargo, estos procesos operan muy lentamente, en una escala de tiempo que demora decenas de miles de años, de modo que

hablamos de plazos demasiado largos para prevenir el cambio climático y sus impactos. Por ejemplo, supongamos que los países continúan aumentando sus emisiones de forma rápida pero a partir de 2100 las detienen por completo. En ese caso, las concentraciones de CO_2 se ubicarían por encima de los niveles preindustriales durante más de un milenio y la temperatura global alcanzaría un máximo de 4 grados centígrados respecto a las cifras de 1900. Este sorprendente resultado muestra la tremenda inercia que opera en el ciclo del carbono y el sistema climático.[136]

Por eso hay quienes creen que deberíamos considerar un enfoque completamente diferente a la mitigación. ¿Es posible eliminar el CO_2 después de que los combustibles fósiles se hayan quemado? Esto podría ocurrir bien integrando nuevas tecnologías en el proceso o bien actuando sobre la concentración de CO_2 que ya se ha fijado en la atmósfera. La ventaja de estos procesos sería que podríamos continuar usando combustibles fósiles en abundancia para impulsar nuestras economías y, al mismo tiempo, reduciríamos su impacto sobre el clima.

La tecnología de poscombustión más prometedora que conocemos se denomina «captura y secuestro de carbono» (CSC). Esta tecnología quemaría combustibles fósiles (como el gas natural o el carbón) y luego capturaría el CO_2. La quema es fácil, mientras que la captura es difícil. ¿Cómo funciona la CSC? La siguiente descripción se basa en un estudio cuidadoso, realizado por un equipo de ingenieros y economistas del MIT:[137] «La idea básica es simple. La CSC capturaría el CO_2 en el momento de la combustión y, a continuación, lo enviaría a algún lugar donde permanecería almacenado por cientos de años, de modo que no llegaría a salir a la atmósfera».

Tomaremos el ejemplo del carbón para entender mejor la CSC. Como establecen páginas anteriores, el carbón es el combustible fósil más abundante y, por tanto, el candidato perfecto para desplegar la CSC a gran escala. Los ingenieros creen que la CSC con gas natural será menos costosa, pero no contemplan un gran diferencial de coste con el carbón.

Para simplificar, asumiremos que el carbón es carbono puro. Por tanto, el proceso básico que estaríamos siguiendo es éste:

$$\text{Carbono} + \text{oxígeno} \rightarrow \text{energía como calor} + CO_2$$

De manera que la combustión del carbón produce una salida deseada (energía como calor) y también acarrea una externalidad indeseable (la liberación de CO_2 a la atmósfera, fuente de una mayor concentración que luego termina generando procesos de calentamiento).

El «truco» de la CSC consiste en capturar las moléculas de CO_2 «antes» de que entren en la atmósfera. La separación de CO_2 se aplica en la actualidad en los campos de petróleo y gas natural. Sin embargo, estas técnicas ya existentes operan a pequeña escala y no son apropiadas para un despliegue a gran escala, que abordaría toda la generación eléctrica ligada al carbón.

Una tecnología prometedora que puede contribuir a dar el salto es el ciclo combinado de gasificación integrada con captura de CO_2. Este proceso comenzaría con carbón pulverizado. A continuación, se gasificaría para producir hidrógeno y monóxido de carbono. Lo siguiente sería fomentar la reacción del monóxido de carbono para producir CO_2 e hidrógeno altamente concentrados. Luego tocaría separar el CO_2 con un disolvente, comprimirlo y almacenarlo. Puede que suene complejo y, en parte, lo es. Sin embargo, no es un proceso mucho más complicado que las tecnologías que se emplean actualmente para generar electricidad a partir del carbón.

Los principales problemas de la CSC son el coste y el almacenamiento. El coste de la electricidad aumenta cuando se agrega la CSC, porque se requiere energía para separar el CO_2 del flujo de emisión. Según el estudio del MIT, el coste de la generación de electricidad aumenta de 3 a 4 centavos por kWh con la incorporación de los procesos de captura de CO_2. Con las actuales tecnologías eléctricas, el encarecimiento sería del 60 por ciento. Sin embargo, aplicando la CSC a las nuevas tecnologías de producción energética la subida del precio llegaría al 30 por ciento.[138]

Si bien la captura de CO_2 es la parte más costosa del proceso, es probable que el transporte y el almacenamiento sean las partes más controvertidas. De entrada, está el reto que supone la magnitud de los materiales que se almacenarían. Puede haber dudas sobre los sitios de almacenamiento escogidos, aunque lo más probable sería apostar por formaciones rocosas, subterráneas y porosas, como vemos en los campos de petróleo y de gas natural que ya están agotados. Otro problema que cabría abordar sería el del riesgo de fugas. Esto no sólo reduciría la validez de la CSC (porque parte del CO_2 capturado terminaría igualmente en la atmósfera) sino que podría plantear problemas para la salud y la seguridad. Bajo mi criterio, la opción ideal sería utilizar el almacenamiento gravitacional en los océanos profundos. Si el CO_2 se deposita en las profundidades del océano, el CO_2 sería más pesado que el agua y permanecería allí durante muchos siglos.[139]

En la actualidad, la CSC enfrenta muchos obstáculos. Es costosa, no está probada y debería ser ampliada para gestionar decenas de miles de millones de toneladas de CO_2 cada año. Tenemos datos inadecuados sobre el rendimiento del almacenamiento subterráneo y necesitamos mucha más experiencia que la actual para garantizar la aceptación científica y la validación por parte de la opinión pública. Hay miedo a la posibilidad de que una enorme liberación de CO_2 cause daños imprevistos.

Al igual que muchas otras tecnologías de gran escala que son intensivas en su recurso al capital, la CSC está atrapada en un círculo vicioso. Las empresas no invertirán en ella porque entraña grandes riesgos financieros. Dichos riesgos se explican porque la aceptación de este tipo de soluciones es baja y porque hay muchos obstáculos que impiden un despliegue a gran escala. Romper este círculo vicioso es un dilema importante para la política pública.

Otras tecnologías futuristas

Otras propuestas para eliminar el CO_2 de la atmósfera suenan más a ciencia ficción que a ingeniería pura y dura. Un lindo ejemplo es la idea de cultivar miles de millones de árboles, cortarlos y almacenarlos junto a su carbono en algún lugar remoto donde se pueda evitar su descomposición. Una variante de esta propuesta fue sugerida por el distinguido físico Freeman Dyson:

> Después de dominar la biotecnología, las reglas del juego climático cambiarán radicalmente. En una economía mundial basada en la biotecnología, es probable que se convierta en realidad el respaldo a las emisiones de carbono de bajo coste y de impactos benignos para el medio ambiente [...]. Por ejemplo, es probable que veamos árboles genéticamente modificados que se "comerán" el carbono. Puede que sea una realidad en veinte años y, sin duda, lo veremos en cincuenta años con casi total seguridad. Esos árboles que consumen carbono podrían convertir la mayor parte del carbono que absorben de la atmósfera y generar así una forma químicamente estable que se podría enterrar bajo tierra.[140]

Los científicos están trabajando en otras tecnologías que podrían acelerar los procesos naturales de almacenamiento de CO_2. Klaus Lackner, de la Universidad de Columbia, ha propuesto un «árbol sintético» que eliminaría el CO_2 de la atmósfera.[141] Algunos científicos han sugerido otros métodos que pretenden utilizar los océanos para absorber el exceso de carbono.

Todas estas ideas se enfrentan con dos obstáculos principales. Es probable que sean experimentos caros y que requieran una aplicación a gran escala. Para entender mejor las limitaciones, pensemos en algo que hoy sí se antoja posible. La provincia canadiense de la Columbia Británica posee vastas extensiones de bosques y la mayoría de ellos están prácticamente intactos. Supongamos que la mitad de estas tierras forestales fuesen consagradas a la eliminación de carbono. Hablamos de una superficie de 300.000 kilómetros cuadrados. A cambio de esa gran montaña de árboles, apenas se compensaría el 0,5 por ciento de las emisiones de CO_2 previstas en el mundo para los dos próximos años.

Quizá podemos conseguir una gran cantidad de árboles capaces de «comerse» el carbono. Quizá podemos sumar a ello distintos proyectos de árboles sintéticos, al estilo de lo sugerido por Lackner. Pero, aunque este tipo de iniciativas puede inclinar la trayectoria del CO_2 hacia abajo, hablamos de un reto gigantesco y muy complejo. Es probable que estos

esfuerzos sirvan como complemento, pero es difícil que sustituyan las reducciones de emisiones. Si surge un proceso de eliminación de carbono completamente diferente y más eficiente la cosa sería distinta.

La mayoría de las opciones que conseguirían reducciones drásticas en las emisiones de CO_2 parecen costosas, como reflejan los cálculos del capítulo 15. ¿Acaso somos excesivamente pesimistas porque las tecnologías de hoy se desarrollaron en un mundo que no estaba preocupado por el cambio climático? ¿Es posible que, con los incentivos apropiados y dedicando suficiente talento científico a esta tarea, el calentamiento global pueda resolverse mediante una revolución en el campo de las tecnologías energéticas?

Regresemos, por un momento, a la figura 3. El gráfico muestra que la intensidad de carbono de la economía estadounidense ha disminuido alrededor de un 2 por ciento anual en las últimas ocho décadas, con pequeñas variaciones en esta tendencia. ¿Es posible que una revolución importante en las tecnologías energéticas eleve la tasa de descarbonización al 10 o al 20 por ciento por año y, de esta forma, reducir drásticamente la trayectoria de las emisiones?

No es fácil anticipar los desarrollos tecnológicos del futuro, de modo que encontrar una respuesta satisfactoria a estas preguntas es inherentemente difícil. Si supiésemos qué rumbo seguirán las invenciones tecnológicas, nos haríamos ricos y famosos invirtiendo con ese conocimiento.

De momento, puestos a especular sobre las tendencias futuras, podemos pensar que muchos avances pueden surgir de una combinación que abarque la computación avanzada, la robótica y la irrupción de nuevos materiales. El inventor futurista Ray Kurzweil ha expresado su visión de un mundo «bajo en carbono pero rico en energía». Kurzweil sugiere que la nanotecnología molecular puede reducir los costes de fabricación de la energía solar hasta llevarla a una fracción de los precios actuales. Esto pasaría por colocar células solares de bajo coste en edificios, vehículos e incluso en la ropa que llevamos. Pero Kurzweil no se detiene ahí. También prevé utilizar la

energía solar en el espacio para transmitir grandes cantidades de energía a la Tierra a través de microondas, con materiales llevados al espacio a través de un ascensor espacial.[142]

Al igual que ocurre con otros pronósticos de avances revolucionarios, es difícil saber si podemos tomarnos en serio todas estas indicaciones. Además, incluso si ése es el futuro, ¿qué probabilidad hay de que lo alcancemos en 50 o 100 años? ¿Es del 20 por ciento, del 2 por ciento o del 0,02 por ciento?

De entrada, no debemos descartar este tipo de avances tecnológicos radicales. Hace un siglo, nadie hubiera soñado con internet, con la inteligencia artificial o con la secuenciación del ADN. Además, si nos fijamos en la figura 39, vemos que los costes de la energía solar fotovoltaica han disminuido considerablemente en las últimas cinco décadas, de modo que los avances siguen acumulándose.

Pero una reflexión somera sugiere que estos posibles avances tecnológicos radicales no resolverán el dilema del calentamiento global. Tenemos que tener una alternativa. Debemos estar asegurados ante una amenaza tan importante. No podemos confiar en que una tecnología que hoy no existe va a evitar los daños que sí podemos anticipar en ausencia de medidas preventivas.

Supongamos que alguien inventa un ingenioso insecto que come carbono en la atmósfera y luego vuela hacia el espacio en cuanto está «lleno». ¿Supone eso que no debemos hacer nada más contra el clima? En absoluto. Si ese insecto no funciona como se espera de él, volveremos a la casilla de partida. Necesitamos políticas que anticipen y prevengan las crisis. Los incendios son algo incierto, pero procuramos estar asegurados por si tenemos la desgracia de sufrirlos. Las políticas climáticas son algo así: debemos invertir esfuerzos en asegurarnos contra la deriva que entraña el calentamiento global.

Entonces, ¿cuál es la conclusión a la que llegamos tras este estudio de la mitigación? Sabemos, por un lado, que hay muchas opciones para reducir el CO_2 y otros gases de efecto invernadero. Algunas están disponibles a pleno rendimiento en la actualidad, como por ejemplo la posibilidad de cambiar la

generación de electricidad de carbón a gas natural. Otras son más especulativas, como la CSC. Otras son, directamente, una ensoñación visionaria, como los árboles que «comen» carbono.

Los economistas que han estudiado este problema están generalmente de acuerdo: podemos frenar el calentamiento global mediante la mitigación, pero sólo si esta tarea se toma en serio y se administra de manera eficiente. Dando pasos en la dirección correcta, el esfuerzo no tiene por qué ser extremadamente caro y el uso de herramientas amigables con los incentivos del mercado contribuirá a reducir los gastos y los costes de estas políticas en nuestra vida cotidiana.

El impacto en los estándares de vida durante el próximo medio siglo sería muy modesto si la mitigación se gestionase de manera eficiente. Son todos éstos grandes supuestos que exigen más detalle, por eso los próximos capítulos se refieren a esta cuestión.

15

El coste de frenar el cambio climático

En el capítulo anterior pusimos de manifiesto que limitar el cambio climático requiere centrarse, principalmente, en reducir la concentración de CO_2 y otros GEI. Hay cuatro formas básicas de lograrlo, aunque la primera ha sido ampliamente descartada, puesto que se basa en un decrecimiento que empeoraría nuestros niveles de vida. Sin embargo, hay otras tres opciones encima de la mesa y debemos considerarlas todas si queremos lidiar de manera efectiva con el cambio climático.

Podríamos cambiar nuestro estilo de vida frenando nuestro recurso a actividades intensivas en carbono, por ejemplo acordando una reducción de los vuelos aéreos que nos transportan de una a otra punta del mundo. Otra vía sería la de producir nuestros bienes y servicios con tecnologías bajas en carbono o, directamente, ajenas al mismo (gas natural, energía eólica...). Incluso podríamos seguir quemando combustibles fósiles y optar después por eliminar el CO_2 mediante técnicas varias.

El propósito de las políticas de cambio climático es alentar estas tres acciones. Las políticas más efectivas y eficientes son aquellas que actúan sobre las decisiones diarias que toman millones de personas, miles de empresas y cientos de gobiernos de todo el mundo. A todos estos actores hay que inducirlos a usar tecnologías de bajo contenido de carbono. Algunas opciones son obvias, como la reducción de las emisiones netas de CO_2 derivadas de la electricidad generada a partir del carbón. Otras opciones son más sutiles, como por ejemplo la modificación de procesos productivos en las fábricas. Mirando al futuro, las soluciones más prometedoras son las que fomentan el desarrollo de tecnologías nuevas de mayor eficiencia energética y menor impacto medioambiental.

Sin embargo, el problema de todo esto es que no es gratis. La transición tiene un coste. La electricidad eólica, por ejemplo, es más cara que la energía producida por las centrales de carbón más eficientes. El automóvil híbrido consume mucha menos gasolina..., pero cuesta más que un automóvil estándar. Y ni que decir tiene que pedirle a la gente que deje de viajar en avión es, cuando menos, impopular. Sin duda, hay cambios asumibles y asequibles, pero también hay renuncias o modificaciones de enorme coste. En cualquier caso, la economía nos recuerda que cumplir las metas fijadas en los grandes acuerdos contra el cambio climático requiere inversiones sustanciales.

Cómo medir los costes

La forma más habitual de medir los costes pasa por estimar los dólares por cada tonelada de CO_2 que se deja de emitir. Al principio, puede parecer un cálculo extraño, pero simplemente estamos fijando el precio de pasar de un paradigma a otro. Estamos acostumbrados a pagar X dólares por Y cantidad de patatas. En este caso, la X no es un precio que pagamos para obtener esa producción, sino el precio que pagamos para no producir algo.

La lógica es sencilla. Supongamos que podemos reducir las emisiones de CO_2 en 10 toneladas con una inversión equivalente a 1.000 dólares. Entonces, diremos que el coste es de 100 dólares por tonelada (1.000/10 = 100). Pero, para entenderlo mejor, tomemos dos ejemplos específicos:

- Imaginemos que tenemos una nevera vieja y estamos pensando en comprar una nueva cuya eficiencia energética es mucho mayor y cuyo precio es de 1.000 dólares. Cada nevera dura 10 años y ofrece un mismo tamaño y un mismo programa de enfriamiento. La diferencia es que la nevera nueva consume menos electricidad y permite un ahorro de 50 dólares anuales en la factura de la luz. Por tanto, el coste neto pasará de 1.000 a 500 dólares, una vez tenemos en cuenta dicho ahorro. Si investigamos un poco, veremos que la nevera nueva emite

anualmente 0,3 toneladas de CO_2 menos que la nevera vieja. Esto supone 167 dólares por cada tonelada de CO_2 que se deja de emitir (500/(0,3 × 10) = 167).[143]

- Pensemos ahora en la generación de electricidad con una antigua planta de carbón y una nueva de gas natural. La primera es ineficiente y supera el coste de la segunda en 1 centavo por kWh. La diferencia en las emisiones de CO_2 es de aproximadamente media tonelada de CO_2 por cada 1.000 kWh. Si estimamos los costes, vemos que cada tonelada de CO_2 eliminada tiene un precio de 20 dólares: (10 $/10.000 kWh)/(0,5 toneladas CO_2/1.000 kWh) = 20 $/tonelada de CO_2. Por tanto, el coste de cambiar una planta por otra es mucho menor, en términos de reducción de CO_2, que el reemplazo de la nevera.[144]

Estimando los costes de reducir las emisiones de CO_2

El coste de reducir las emisiones de CO_2 es uno de los temas más importantes en la economía del cambio climático. La idea básica es simple. Necesitamos energía para servicios como iluminación, calefacción o conducción. Podemos obtener estos servicios de diferentes maneras. Por un lado, podríamos obtener la iluminación que necesitamos con bombillas baratas e ineficientes o mediante luces costosas pero eficientes. De igual modo, podemos conducir un coche a gasolina o un vehículo híbrido.

Si usamos menos energía, utilizaremos menos combustible y, en consecuencia, emitiremos menos CO_2. Sin embargo, la eficiencia energética acarrea también un coste más alto, tanto si hablamos de las bombillas más dinámicas como si estamos ante un coche menos contaminante. Por tanto, si consideramos todo lo que está en juego, podemos preguntarnos cuál es el coste neto de reducir una cantidad determinada de CO_2.

Los expertos en energía han realizado muchos estudios sobre los costes de reducir las emisiones de CO_2 y otras emisiones de GEI. Entre los hallazgos importantes de sus trabajos, aparecen los siguientes:

- La economía contiene muchas oportunidades de bajo coste. En ocasiones, podemos hablar incluso de «costes negativos», en la medida en que el ahorro en el consumo de energía generado por equipamientos más eficientes termina compensando con creces las inversiones realizadas para proceder al cambio tecnológico o productivo de turno.
- Los costes empiezan a aumentar considerablemente a medida que restringimos las emisiones con mayor intensidad. Los estudios disponibles indican que los países pueden lograr reducciones del 10 o el 20 por ciento con costes relativamente modestos, posiblemente incluso nulos. Sin embargo, reducir las emisiones en un 80 o 90 por ciento sería extremadamente costoso, sobre todo a corto y medio plazo.
- No hay «balas de plata» que, a partir de una tecnología concreta, permitan solucionar el problema de golpe. Más bien, existen innumerables oportunidades que están presentes en todo el mundo y en todos los sectores.
- Por último, aunque aquí nos centramos en el CO_2 de los combustibles fósiles, la política climática tiene que ir más allá y considerar otros retos. Hay, de hecho, muchas fuentes emisoras de GEI que pueden reducirse de forma económica. Por ejemplo, la sustitución de los clorofluorocarbonos que agotaban la capa de ozono provocó importantes reducciones en las emisiones de GEI y evitó grandes efectos de calentamiento. No obstante, para simplificar el análisis, el foco seguirá en el CO_2.[145]

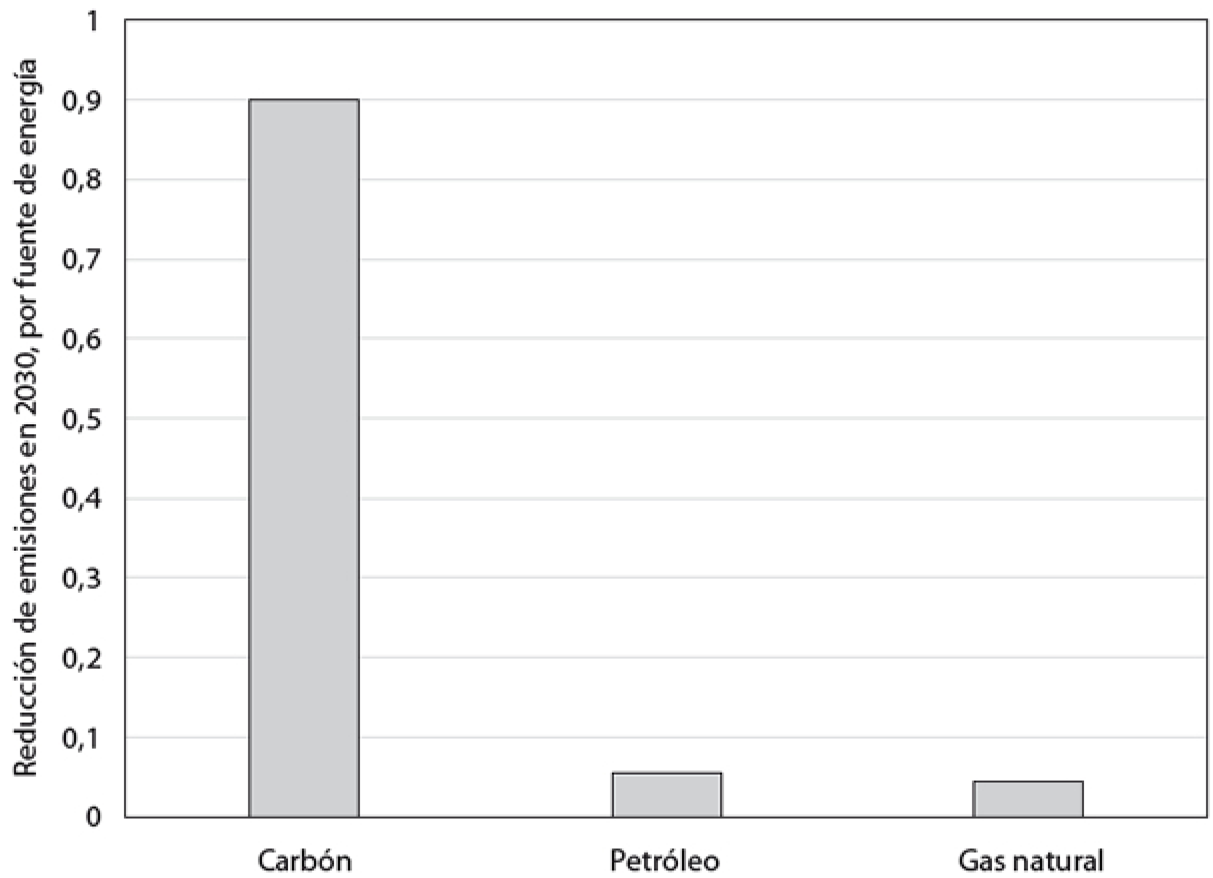
Muchos estudios científicos sobre el calentamiento global presentan escenarios tecnológicos futuros muy detallados. No comparto ese enfoque, sobre todo porque no podemos afirmar con certeza que el mañana será así. Los economistas y los formuladores de políticas no tienen la información para conocer qué va a pasar con la energía del planeta en los siglos que están por venir. La economía es demasiado complicada y evoluciona demasiado rápido. Más bien, como plantea la cuarta parte de este libro, los

economistas se centran en diseñar políticas que proporcionen incentivos favorables a la reducción de las emisiones de CO_2 y a contribuir al desarrollo de las nuevas tecnologías de baja emisión de carbono.

Aunque no conocemos con detalle los desarrollos tecnológicos que están por venir, sí tenemos información suficiente para entender qué áreas podrían concentrar el grueso de los avances en materia de reducción de emisiones. Para entenderlo, planteo como referencia una propuesta que, en 2030, aspira a reducir un 40 por ciento las emisiones en Estados Unidos frente a los niveles que se esperan para dicho año en ausencia de medidas de control. Las medidas incluidas en la propuesta no son de importancia, puesto que mi propósito en estas líneas es poner el énfasis en lo importante que es llegar a objetivos ambiciosos a través de soluciones eficientes.

La agenda de reducción de emisiones a la que me refiero fue analizada utilizando un modelo especializado en energía desarrollado por la Administración de Información Energética (EIA) de Estados Unidos. La figura 24 muestra que, bajo este escenario, la mayor parte de las reducciones de emisiones provendría de la reducción del uso de carbón.[146] Para ser precisos, el consumo de carbón se reduciría un 90 por ciento, frente al 5 por ciento de caída respectiva para el petróleo y el gas natural. El enfoque en el carbón se explica porque tiene emisiones de CO_2 mucho más altas por cada dólar de producción energética derivado del mismo. Además, teniendo en cuenta que el gas natural puede sustituirlo en la generación eléctrica de forma razonablemente sencilla y económica (como apuntan páginas anteriores), esta senda parece lógica y aconsejable, más aun teniendo en cuenta que el precio del gas natural ha disminuido considerablemente en los últimos años, lo que reduce a su vez el coste de aminorar el recurso al carbón.

FIGURA 24 **Proyección de la vía más económica de reducción de las emisiones de CO_2**



Nota: Según la Administración de Información Energética (EIA) de Estados Unidos, el grueso de la caída debe hacerse con un recurso mucho más bajo al carbón. Estas conclusiones son similares a las que arrojan otros modelos económicos.

Los resultados que arrojan los modelos de análisis energético sugieren una conclusión importante y preocupante. Hoy en día, la mayoría de los países defiende la importancia de avanzar en materia de eficiencia energética como solución contra el cambio climático. Esto supone modernizar automóviles, renovar electrodomésticos, etc. Sin embargo, dichas normas no abordan el campo en el que las reducciones se pueden lograr de forma más intensa y económica, puesto que no atajan el uso del carbón. Puede que centrarse en la eficiencia energética sea más popular, puesto que la reducción del uso del carbón se enfrenta a la feroz oposición de áreas y empresas productoras, pero los análisis son claros y el carbón es el eje central sobre el que debe girar una estrategia eficiente de reducción de las emisiones de CO_2.

Partiendo de esa base, hay que reconocer que los costes involucrados en la reducción de las emisiones de CO_2 son potencialmente elevados, de modo que su reducción requiere un compromiso franco que ayude a desarrollar estrategias a gran escala que aminoren el calentamiento sin imponer un gasto excesivo. Debemos asegurarnos de que las sociedades se basan en los enfoques menos costosos, puesto que el reto ante el que estamos implica reducir las emisiones en miles de millones de toneladas.

Enfoques para estimar los costes de la reducción de emisiones

Las páginas anteriores ilustran vías de reducción de emisiones a partir de medidas económicas eficientes, como pueden ser la elección de una determinada nevera o el desarrollo de nuevas centrales de producción volcadas en el gas natural. Pero, en última instancia, no podemos tomar estas fórmulas de forma aislada y dispersa: tenemos que estimar su aplicación y su coste para el conjunto de la economía. Los expertos llevan estudiando la cuestión de la reducción de costes de CO_2 desde hace muchos años. Los párrafos que siguen resumen los resultados de estas pesquisas y también enfatizan las dificultades y la naturaleza dinámica de estos análisis.

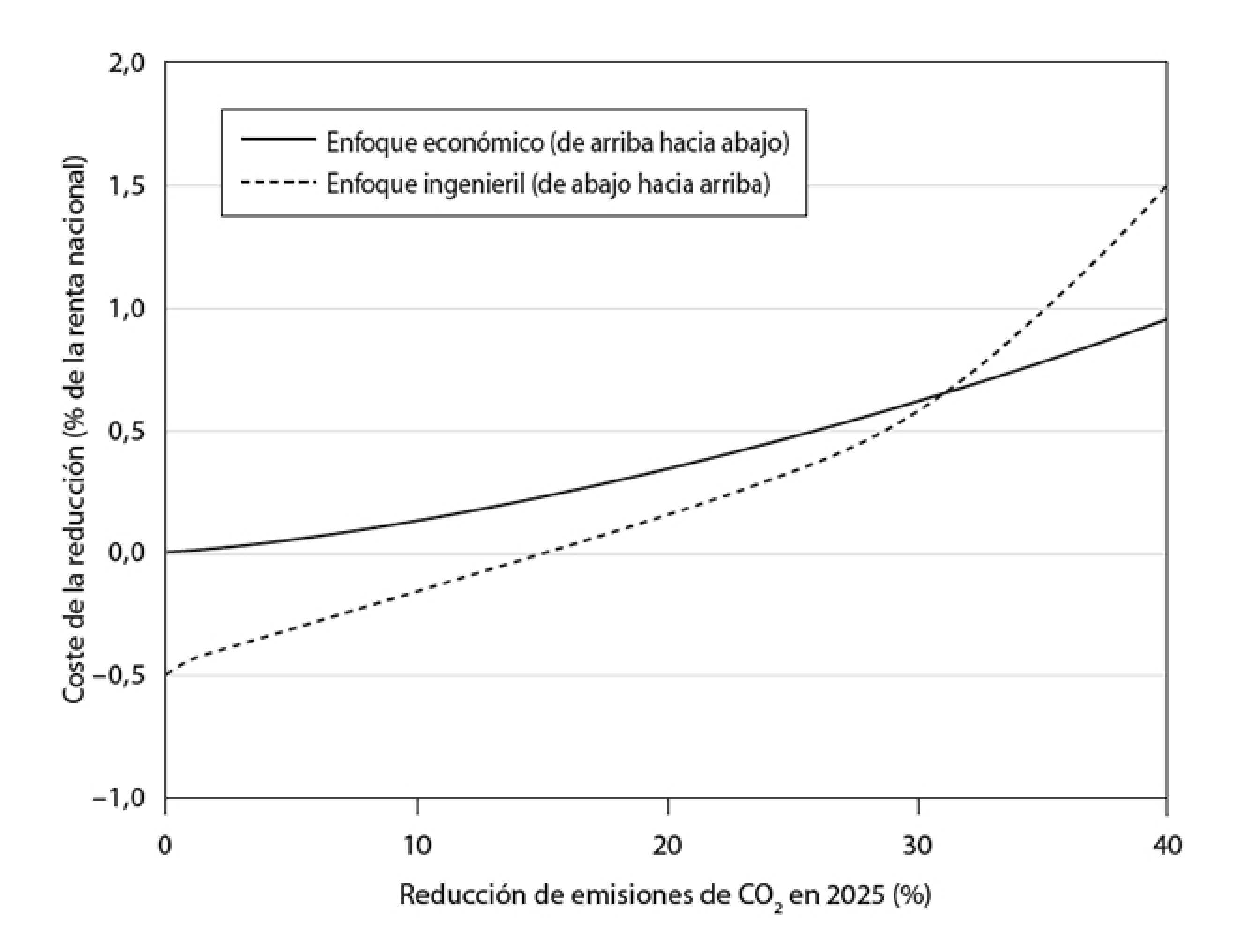
Hay muchas estimaciones encima de la mesa y lo cierto es que varían ampliamente. La figura 25 muestra los resultados de dos fórmulas distintas: el enfoque ingenieril («de abajo hacia arriba») y el enfoque económico («de arriba hacia abajo»).[147] Empecemos por el enfoque ingenieril, el «de abajo hacia arriba». Esto supone calcular los costes de CO_2 de tecnologías diferentes. Por tanto, pasa por analizar las fuentes de energía de automóviles, altos hornos, centrales eléctricas, etc. Esta mirada se pregunta cómo podemos reducir las emisiones para cada sector y a qué coste. Los ejemplos recogidos en páginas anteriores (neveras, centrales eléctricas, etc.) son planteamientos rudimentarios que siguen esta forma de pensar. Se habla de enfoque ingenieril porque éste es el proceso que seguiría un ingeniero a la hora de responder a este dilema: procedería a observar diferentes productos o procesos y preguntaría cómo pueden rediseñarse los mismos para reducir las emisiones de carbono de una manera eficiente.

En la figura 25 el eje vertical muestra el coste medio de las reducciones de emisiones como porcentaje de la renta nacional de Estados Unidos, mientras que el eje horizontal presenta el porcentaje de reducción de CO_2 esperado para 2025. Tomemos, por ejemplo, las estimaciones de coste para una reducción del 30 por ciento en las emisiones de CO_2. Los dos métodos, ingenieril y económico, apuntan que el coste medio de alcanzar dicha cota es del 0,5 por ciento de la renta nacional, lo que supone 15 dólares menos por tonelada de CO_2, para un monto agregado de 100.000 millones de dólares de reducción anual. Conforme el objetivo de reducción de emisiones se vuelve más exigente, el coste para la economía aumenta.

Un hallazgo interesante de los estudios ingenieriles realizados de abajo hacia arriba es la afirmación de que existen muchas medidas de coste negativo, es decir, que no sólo no encarecen los procesos sino que nos ahorran dinero. Aquí entran soluciones como el uso de centrales eléctricas de gas natural, la mejora de la eficiencia del combustible de los automóviles, etc. De acuerdo con la mayoría de los estudios de esta rama, podemos reducir las emisiones un 15 por ciento sin que ello aminore la renta nacional, mientras que añadir otro 15 por ciento a la estrategia y alcanzar la meta del 30 por ciento supone, como ya se ha establecido, un desembolso relativamente asequible, del 0,5 por ciento de la renta nacional.

La otra curva muestra las estimaciones de coste de modelos económicos. Éstos suelen utilizar estimaciones estadísticas relacionadas con el uso de la energía, las emisiones, los costes y la renta nacional. Es el enfoque descrito como de arriba hacia abajo. Funciona con datos agregados, en vez de tomar como referencia tecnologías individuales. Por lo general, estos análisis se diferencian del enfoque ingenieril en que no consideran la posibilidad de que haya opciones de coste negativo puesto que, desde esta perspectiva, si hubiese este tipo de tecnologías ya se habrían adoptado sin necesidad de introducir medidas climáticas que alienten la transición de unas soluciones menos eficientes y sostenibles a otras que supongan una mejora respecto al paradigma existente.

FIGURA 25 **Coste medio de reducir las emisiones de CO_2 para 2025 en Estados Unidos, bajo distintas estrategias de eficiencia**



Hay que tener en cuenta que las dos curvas siguen trayectorias distintas. Las estimaciones de ingeniería comienzan con costes más bajos, pero aumentan más rápidamente su encarecimiento, mientras que el enfoque económico se comporta al revés. Los modelos de abajo hacia arriba suelen estar limitados en el número de tecnologías que pueden evaluar, porque simple y llanamente no pueden abordarlo todo. Por tanto, el grueso de estos cálculos considera alrededor de una docena de tecnologías: automóviles, neveras, centrales eléctricas, etc. No obstante, hay otras formas de reducir las emisiones que no implican cambios en las tecnologías. Por ejemplo, si cambian los patrones de consumo, los modelos económicos sí pueden recoger dicho comportamiento, pero no ocurre lo mismo con el enfoque ingenieril.

¿Qué planteamiento es el más adecuado? En mi propio trabajo, tiendo a utilizar los enfoques económicos porque son consistentes con el comportamiento observado en muchos países y en diferentes épocas.

Además, los modelos de abajo hacia arriba suelen incluir suposiciones poco realistas.[148] Por ejemplo, aunque en efecto hay muchas soluciones de coste negativo, hay que recordar que una cosa es que existan dichas tecnologías, y otra, que se estén explotando de forma eficiente en los mercados reales. De ahí que este trabajo se vuelque, ante todo, en el enfoque económico.

Hay que reconocer, en cualquier caso, que el dilema entre una y otra vía de análisis ha sido objeto de acalorados debates académicos. Para quien se aproxime a estos temas por primera vez, seguro que será desconcertante descubrir que los expertos estén tan divididos sobre los métodos que se deben emplear para estudiar los costes derivados de la reducción de emisiones. Sin embargo, todo esto nos recuerda que hay incertidumbres certeras que complican el proceso de introducir cambios notables en nuestros sistemas económicos.

A pesar de estas discrepancias, el comportamiento básico de la reducción eficiente de costes es similar en la trayectoria de ambos enfoques, como puede verse en la figura 25. El coste de obtener reducciones modestas es relativamente pequeño o negativo y, a medida que aumentamos la profundidad de la estrategia o estrechamos el horizonte temporal, los costes aumentan considerablemente.

El coste de cumplir los objetivos globales de temperatura

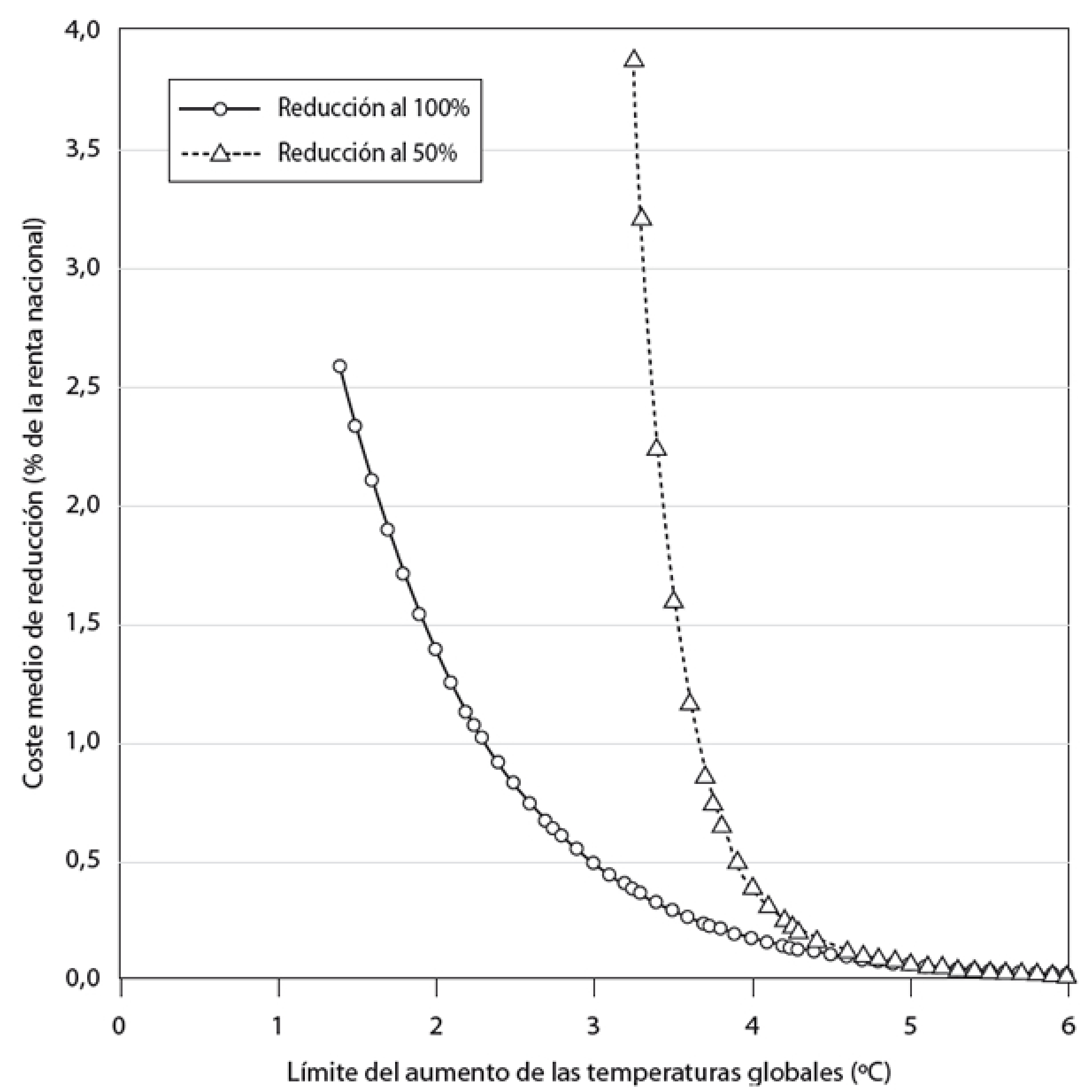
Habiendo examinado los costes derivados de las distintas vías que buscan consolidar una desaceleración en el cambio climático, toca poner en funcionamiento estos hallazgos. Los siguientes párrafos examinan los costes de cumplir con un objetivo específico de cambio climático. Este cálculo es más exigente que la estimación de curvas de costes, puesto que requiere la integración de costes en un modelo de análisis climático.

Para este propósito, hay que empezar conociendo las estimaciones de los costes de cumplir diferentes objetivos de limitación de aumento de la temperatura. En la Cumbre de Copenhague, por ejemplo, se fijó dicho umbral en 2 grados centígrados. Además, empleando modelos climáticos como el modelo DICE de Yale, podemos estudiar otros umbrales de calentamiento. Los resultados de este ejercicio aparecen en la figura 26.[149]

El gráfico presenta la estimación de costes en un supuesto de políticas económicamente eficientes. Las distintas líneas muestran el coste de cumplir con los diferentes objetivos de limitación del calentamiento, recogidos en el eje horizontal. La línea salteada de círculos plantea políticas ciento por ciento eficientes, que se aplican sin excepciones ni retrasos y que cuentan con la participación del ciento por ciento de los países del mundo. La otra línea supone una aplicación que sólo cuenta con el 50 por ciento de los países del mundo.

La suposición del ciento por ciento, sin duda utópica, indica que cumplir con el objetivo de Copenhague de limitar el calentamiento a 2 grados centígrados tendría un coste modesto en el caso de hacerse de manera eficiente, puesto que requeriría gastar el 1,5 por ciento de la renta mundial (más o menos, supone un año de crecimiento). Sin embargo, limitar el calentamiento a 1 grado centígrado entraña costes mucho mayores. Por tanto, debemos tener claro que sí podemos cumplir con objetivos relativamente ambiciosos sin perder más que una fracción de nuestra riqueza, pero esto implica tomar medidas desde la eficiencia y con una participación universal por parte de los distintos gobiernos del mundo.

FIGURA 26 **El gráfico recoge los costes estimados de aplicar distintos objetivos climáticos**



Nota: En ambos casos, se estima el coste medio expresado como porcentaje de la renta global. A la izquierda, la curva plantea políticas de lo más eficientes con una participación del 100 por ciento de las economías, siendo la curva de la derecha una dedicada a un escenario de participación del 50 por ciento. A menos coordinación internacional, más difícil se antoja cumplir los objetivos climáticos fijados en cumbres como la de Copenhague.

El supuesto de la participación limitada es menos óptimo, pero quizá más realista. Una de las ideas clave que se extraen de los modelos económicos es la importancia de la participación casi universal en los programas de reducción de emisiones. El coste de cumplir un objetivo climático depende, en gran medida, de la cantidad de países que participan

en las políticas diseñadas para alcanzar dicha meta. Por esta vía, todas las regiones del mundo exploran soluciones que reduzcan y aminoren las emisiones. Pero si un país como China o India se queda fuera de la ecuación, entonces el resto de países debe asumir reducciones mucho más agresivas para que el saldo global siga siendo el esperado, de modo que se trasladan los costes de un país a otro.

Debemos ser realistas. Hay gobiernos que se niegan a sumarse a estos esfuerzos. Además, los protocolos pactados a nivel mundial pueden excluir algunos focos de emisiones. De hecho, el Protocolo de Kioto de 2012 sólo cubría la quinta parte de las emisiones globales. Por tanto, la curva de participación limitada que vemos en el gráfico 26 se acerca a lo que podríamos ver en la realidad. Quizá los países ricos o de ingreso medio asumirán las medidas climáticas con cierto compromiso, pero los países de menor renta no seguirán el mismo camino hasta tener niveles de riqueza más elevados.

Los costes en un supuesto de participación limitada son muy altos para cualquier umbral inferior a los 4 grados centígrados. La razón es simple: si la mitad de los países no hacen esfuerzos para reducir las emisiones, el calentamiento sustancial será inevitable incluso si la otra mitad de los países hace los esfuerzos notables. Este cálculo también indica que la participación tardía de una parte sustancial del mundo hará que sea prácticamente imposible, además de muy costoso, cumplir con la meta de Copenhague que aspiraba a frenar el calentamiento global en 2 grados centígrados.

Y, no lo olvidemos, uno y otro supuesto parten de que las medidas introducidas son plenamente compatibles con lo que esperan los científicos del clima. Sin embargo, a la hora de la verdad, muchos gobiernos buscarán excepciones, calendarios dilatados, aplicaciones parciales... De manera que, tanto en la curva de la participación al 100 por ciento como en la del 50 por ciento estamos asumiendo que se desarrollarán estrategias muy ambiciosas que, probablemente, chocan con los intereses y cálculos políticos y empresariales de corto plazo.

Este punto es relevante, porque ningún país se acerca, en la práctica, a los niveles de eficiencia que se plantean sobre el papel. La política climática suele ser, en la práctica, una mezcla de regulaciones, impuestos energéticos

y subsidios a tecnologías e industrias verdes. En Estados Unidos, por ejemplo, se limitan las emisiones de CO_2 de las nuevas centrales eléctricas, pero no las de las centrales existentes. En Europa, muchos gobiernos aplican impuestos a las emisiones de carbono, pero eximen o reducen sus tarifas para las industrias exportadoras o las pequeñas y medianas empresas.

Como resultado de este tratamiento incoherente, los costes de cumplir con los objetivos de temperatura son más elevados que los correspondientes a un modelo ciento por ciento eficiente como el que se plantea en la figura 26. El análisis medio de esta situación imperfecta arroja que el uso de soluciones ineficientes duplica los costes de cumplir con los objetivos medioambientales. Si aplicásemos ese hallazgo a la curva de participación más realista, la del 50 por ciento, podemos ver cómo los costes son dos veces más elevados. Así, limitar a 3,5 grados centígrados el aumento de la temperatura global implica aminorar la renta mundial un 3 por ciento, mientras que bajar a 3,25 grados centígrados supone un 8 por ciento frente al 4 por ciento del supuesto 100 por ciento eficiente.

Este acercamiento a los costes de reducir las emisiones de GEI enfatiza la importancia de diseñar políticas desde la participación generalizada y la eficiencia. Un diseño deficiente sumado a una participación limitada eleva notablemente el precio de luchar contra el calentamiento e incluso puede hacer que nuestros objetivos se conviertan, directamente, en algo imposible de alcanzar en la práctica.

Para aquellos interesados en conocer los resultados de otros modelos, podemos estudiar la comparación de modelos del proyecto EMF-22, discutida también en la primera parte del libro. Los once modelos estudiados dentro de dicha iniciativa arrojan escenarios muy similares a los dos que se muestran en la figura 26. En el caso de la participación universal, aproximadamente la mitad de los modelos encontraron que era posible alcanzar el objetivo de 2 grados centígrados, mientras que el supuesto de participación parcial muestra que 20 de 22 cálculos ven imposible llegar a dicha meta sin causar una depresión económica de calado. Estos resultados también son coherentes con las estimaciones de otros modelos de referencia.

Los costes de los modelos EMF-22 son, por lo general, más altos que los del modelo DICE con el que se hicieron los cálculos de la figura 26. Hay diferencias importantes entre algunos modelos, que llegan a estimar dos veces más coste bajo un mismo supuesto.[150] ¿Por qué existe tanta incertidumbre en estas evaluaciones? Por un lado, porque los modelos emplean diferentes estructuras de costes: unos están hechos de arriba hacia abajo mientras que otros se plantean de abajo hacia arriba.

Hay otras causas detrás de las posibles discrepancias. Por ejemplo, un modelo con una alta tasa de crecimiento tiene que gastar mucho más para que la temperatura llegue al nivel deseado. Otro factor relevante tiene que ver con la visión que asume cada modelo respecto al rumbo de las tecnologías energéticas. Por ejemplo, un modelo puede asumir que veremos una industria de energía nuclear más pequeña (con el consecuente aumento de costes), pero otro puede partir del enfoque opuesto (con su correspondiente rebaja de costes).

Sin embargo, debemos ver estas diferencias de modelo como situaciones genuinas y no casuísticas imaginarias. No hay forma de zanjar este debate, puesto que los modelos son simplemente una aproximación al futuro. Lo importante es que constituyen un juicio riguroso sobre lo que está por venir, porque sus componentes han sido considerados de forma rigurosa. Por tanto, la incertidumbre es algo con lo que debemos jugar en el «casino del clima», por mucho que acudamos a los mejores científicos en busca de respuestas.

De manera que la conclusión sobre el asunto de los costes parece clara. Supongamos que vivimos en un mundo ideal, en el que los países trabajan juntos de manera cooperativa para introducir reducciones eficientes en sus niveles de emisiones. No sólo eso: los distintos gobiernos del mundo se cuidan de que los demás países y todos los sectores económicos cumplan fielmente con las metas que se han fijado. En ese mundo ideal, la desaceleración del cambio climático que permitiría cumplir con el objetivo de Copenhague (limitar a 2 grados centígrados el aumento de las temperaturas) sería viable económicamente, con costes de entre el 1 y el 2 por ciento de la renta mundial.

Pero debemos ser realistas sobre el comportamiento de los gobiernos y las empresas, así como con la eficiencia de las políticas que se anuncian en este ámbito. Probablemente no veremos ese escenario ideal, sino uno mucho menos óptimo. Y, en la medida en que los países no participan y en que se introducen políticas ineficientes, alcanzar las metas de Copenhague parece muy complicado, de modo que lo más recomendable sería buscar un calentamiento máximo de 3 grados centígrados.

Así que, salvo que encontremos la forma de hacer realidad la utopía, el entorno político y la realidad socioeconómica ponen muy difícil alcanzar el objetivo de Copenhague de frenar el calentamiento en 2 grados centígrados. Con las tecnologías actuales o con las que pueden estar disponibles a corto o medio plazo, dicha meta se antoja imposible. Pero esto no significa que debamos rendirnos. Al revés, debemos esforzarnos por desarrollar tecnologías más eficientes, tenemos que diseñar políticas más efectivas en cuanto a su implementación y su alcance, y no podemos olvidarnos de que aportando ayudas a los países más pobres podemos acelerar su adopción de los objetivos climáticos.

16

El valor del tiempo

Cualquier consideración de los costes de cumplir con los objetivos climáticos requiere enfrentar uno de los problemas más espinosos de todo lo relacionado con la economía del cambio climático. ¿Cómo podemos comparar los costes y beneficios presentes y futuros? Éste es un tema complejo que nos lleva a la frontera del conocimiento económico moderno. Sin embargo, es importante incluir estas cuestiones en el análisis del «casino del clima», puesto que las medidas que contemplamos se aplican con un horizonte de décadas e incluso siglos. Se trata, al fin y al cabo, de medir los costes actuales de reducir las emisiones y así aminorar los daños generados en el futuro. Por tanto, la estimación de la economía del cambio climático requiere hablar del valor del dinero y su descuento con el transcurso del tiempo.

Para expresar este asunto en pocas palabras: si invertimos en reducir las emisiones, el coste de dicho esfuerzo se pagará, en gran medida, a corto plazo. No obstante, los beneficios derivados de reducir los daños del cambio climático tardarán años en materializarse. Por ejemplo, supongamos que reemplazamos una central eléctrica de carbón por un parque eólico. En este caso, veremos un retraso de varias décadas entre la construcción del parque eólico y la reducción efectiva de las emisiones.

Nuestra primera hipoteca

Los economistas aceptan de forma generalizada la importancia de medir los beneficios y los costes con la mirada puesta en el valor del dinero en el tiempo. No sería ético ni razonable hablar de cuestiones de tan largo plazo

sin considerar el factor tiempo en términos económicos. ¿Cómo podemos hacerlo?

Más allá del debate que despiertan estos temas en las altas esferas de la ciencia económica, todos nos enfrentamos con este tipo de preguntas en nuestra vida cotidiana. Supongamos que queremos comprarnos una casa por 200.000 dólares, pero sólo disponemos de 50.000 dólares en efectivo. La brecha, de 150.000 dólares, la cubriremos con una hipoteca. El banco está dispuesto a prestárnosla, pero exigirá una tasa de interés del 6 por ciento. A treinta años, esos 150.000 dólares, sumados al tipo decretado por el prestamista, supondrán un desembolso final de 323.759 dólares.

Sí, «los banqueros son ricos por algo». Pero si vamos más allá del lamento más evidente, veremos que esos 173.759 dólares adicionales son el precio que tiene traernos al presente unos 150.000 dólares que no tenemos. En vez de esperar tres décadas, seremos propietarios hoy de nuestro domicilio. Por eso estamos dispuestos a pagar un interés del 6 por ciento sobre el monto que recibimos del banco.

En este análisis hemos hablado simplemente de un interés anual del 6 por ciento, pero debemos considerar también el impacto que tiene la inflación. Imaginemos que, cada año, los precios aumentan a una tasa del 2 por ciento. Esto significa que pagaremos en dólares que valen menos dinero en el futuro. ¿Cómo deberíamos tratar este hecho económico?

Si pensamos en el interés, generalmente lo hacemos con la mente puesta en la tasa «nominal». El interés se cotiza en términos monetarios. Devolvemos dólares futuros a cambio de dólares recibidos hoy. Si los precios suben al 2 por ciento, aunque paguemos 6 dólares por cada 100 dólares prestados, esos 6 dólares costarán menos con el paso de los años.

El concepto que los economistas financieros utilizan para lidiar con el fenómeno de la inflación es el de la «tasa de interés real». Este indicador mide cuántos bienes obtendremos mañana si tenemos en cuenta el impacto de la inflación. Para consolidar esa aproximación, hay que corregir el interés nominal para convertirlo en el interés real. En el ejemplo que estamos manejando, la tasa de interés real será del 4 por ciento. La ecuación

sería la siguiente: 6 por ciento de interés nominal –2 por ciento de inflación = 4 por ciento de interés real. Por tanto, el precio es menor de lo que puede parecer a primera vista.

La tasa de descuento

El siguiente ejemplo ilustra los problemas planteados por la tasa de descuento. Supongamos que alguien está vendiendo un bono especial que paga 1.000 dólares reales (es decir, dólares ajustados para descontar la inflación) en un plazo de cincuenta años. ¿Cuál es el monto máximo que deberíamos pagar hoy por adquirir ese título de deuda?

Para resolver esa pregunta, acudiremos a un consultor financiero de nuestra confianza. Su consejo será que calculemos la contribución adecuada tomando esos 1.000 dólares de 2050 y analizando su valor presente con la tasa de descuento apropiada. ¿A qué alude dicho indicador? En esencia, se trata de una métrica que refleja la cantidad que podríamos ganar con inversiones equivalentes durante ese mismo período. Para tener en cuenta la inflación, será una tasa de descuento real, ajustada al aumento de los precios.

Además, debemos reconocer que las inversiones siempre conllevan algún tipo de riesgo. Por tanto, para calcular el valor del bono especial, deberíamos agregar una estimación de su prima de riesgo. Al fin y al cabo, puede que la contraparte venga respaldada por una institución como Lehman Brothers o por un banco chipriota...

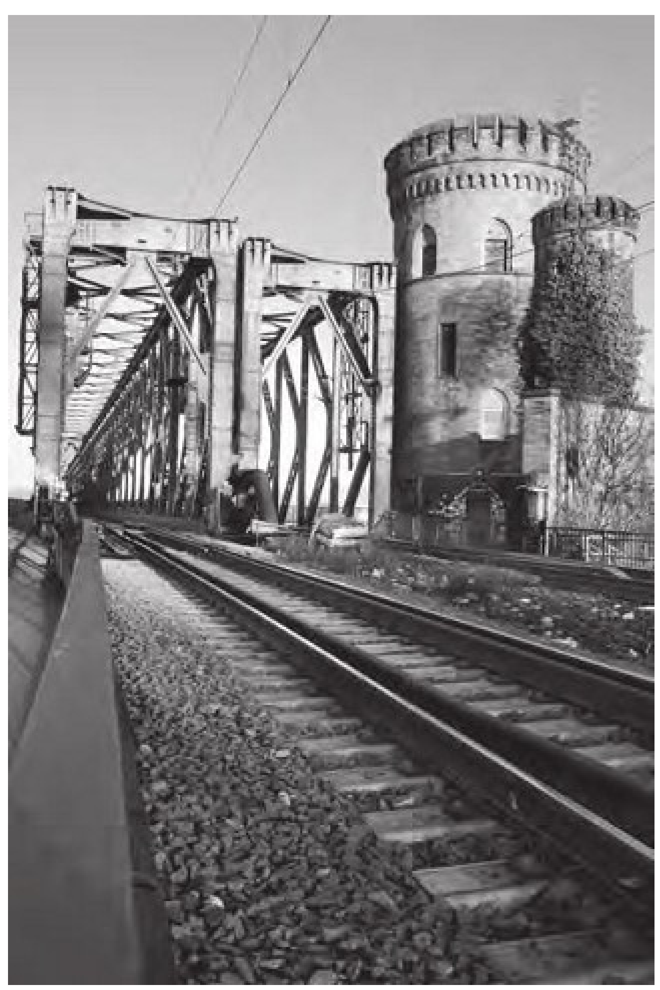
Así las cosas, ¿cuánto vale el bono de 1.000 dólares a fecha de hoy? Usaremos como referencia de inversión alternativa un tipo de interés del 4 por ciento. Si aplicamos dicha tasa de descuento al bono, encontramos que su valor presente es de 141 dólares. Ése sería el valor correcto porque, tomando 141 dólares e invirtiéndolos cincuenta años al 4 por ciento, conseguiríamos también 1.000 dólares.

Determinantes de intereses

¿Cuál es la razón económica subyacente que explica el interés? Grosso modo, refleja el hecho de que las inversiones son productivas. En otras palabras, si la economía pone recursos en determinados proyectos de inversión, será porque esos proyectos producirán más recursos en el futuro. Esta lógica se aplica a todo tipo de inversiones: la construcción de una fábrica, la financiación de los estudios de nuestros hijos, la inversión en electrodomésticos que ahorran en consumo de energía, etc. En general, invertir 100 dólares en capital nuevo rinde entre un 4 y un 20 por ciento con el paso del tiempo. Esto significa que, para obtener un dólar el próximo año, requerimos 0,96 dólares hoy (1$/1,04% = 0,96$).

Debido a que los dólares son menos valiosos en el futuro que hoy, los economistas decimos que se reducen o se «descuentan» en el futuro. Podemos usar la analogía de la perspectiva visual para mostrar el impacto del futuro en los valores. Si observamos la vía del ferrocarril (figura 27), encontramos que los objetos distantes se ven más pequeños. Ése es el aspecto que deben tener los montos económicos del mañana, porque los bienes recibidos en el futuro tienen un valor menor que los bienes recibidos hoy.[151]

FIGURA 27 **La tasa de descuento reduce el valor de bienes que están por venir**



Nota: Se trata de una especie de perspectiva visual que aminora el valor de los bienes y servicios futuros.

Consumo presente versus consumo futuro

El cálculo de la tasa de descuento compara los bienes y servicios de hoy con los de mañana. En última instancia, las personas toman decisiones de gasto considerando su capacidad de consumo. Podríamos decir que el consumo es el objetivo final de la vida y la acción económica.

El consumo se refiere a la amplia gama de bienes y servicios que las personas disfrutan a cambio de un coste determinado. Debemos pensar en ello como un concepto integral. Incluye bienes de mercado, como automóviles, y también artículos que no son de mercado, como comidas hechas en casa o servicios medioambientales como el lujo de nadar en el

océano. Para determinar su coste adecuadamente, sería recomendable considerar el impacto medioambiental: la contaminación tiene costes y la buena salud de los ecosistemas aporta valor.

El principal compromiso en materia de cambio climático consiste en cambiar el consumo hoy y adaptar el consumo futuro. Cuando reducimos las emisiones de CO_2, sacrificamos pautas de consumo previstas para el presente. El retorno de esta inversión será la reducción de los daños climáticos y el aumento futuro del consumo. Si reducimos nuestro consumo a base de viajar menos en avión, reducimos las emisiones de CO_2 y ayudamos a preservar el medio ambiente.

Así podemos entender por qué la tasa de descuento se vuelve tan importante. Supongamos que una inversión climática sacrifica 100 unidades de consumo hoy pero aumenta el consumo futuro en 200 unidades. Para determinar si es una buena inversión, hay que calcular la tasa de descuento.

Mirando al futuro para enfrentar el cambio climático

En clave de economía y cambio climático, las dudas de los expertos sobre el concepto «descuento» se centran principalmente en plantear cómo debe analizarse esta tasa: ¿debe derivarse de un enfoque prescriptivo (normativo) o debe cimentarse en una base descriptiva (coste de oportunidad)?[152]

Comenzaremos con el enfoque prescriptivo. Este enfoque fue defendido con fuerza por el distinguido economista británico Nicholas Stern, en un importante estudio que dirigió sobre la política de cambio climático, el *Informe Stern*. Junto con otros expertos, Stern argumentó que no es ético descontar el bienestar de las generaciones futuras. Dicho enfoque defiende que deberíamos aplicar una tasa de descuento muy baja (entre el 1 y el 3 por ciento) a la hora de calcular el valor presente de los daños climáticos futuros.[153] John Roemer, politólogo de Yale, ha desarrollado un enfoque alternativo basado en la sostenibilidad.

Si bien éste es un argumento atractivo, hay que hacer ciertas puntualizaciones. De entrada, a la hora de analizar estos problemas, debemos distinguir la tasa de descuento de los bienes (aplicada a las casas o

el gasto energético) de la tasa de descuento del bienestar (que se aplica a las personas a lo largo de distintas generaciones). Si las personas en el futuro son más ricas que las personas de hoy, podríamos considerar su consumo como menos valioso que el consumo de la generación actual (es decir, descontarlo). Por lo tanto, asignar diferentes valores a los bienes no es lo mismo que asignar diferentes valores a las personas que conforman las sociedades de hoy y de mañana.

La mayoría de los filósofos y economistas sostienen que las generaciones ricas tienen menos legitimidad ética que las generaciones pobres a la hora de reclamar el acceso a recursos naturales. Esto exigiría descontar el valor del consumo futuro en relación con el consumo actual, puesto que partiría del hecho de que las generaciones futuras serán, según todas las proyecciones, más ricas que las generaciones actuales. Determinar de forma exacta la tasa de descuento de los bienes dependería de cuánto más ricas se espera que sean esas generaciones del mañana y de la valoración relativa del consumo que hacemos para las generaciones ricas y pobres.[154]

Aquellos que defienden el enfoque descriptivo pueden estar de acuerdo con la filosofía que subyace en el enfoque prescriptivo; sin embargo, esta escuela alternativa sostiene que estas reflexiones filosóficas son en gran medida irrelevantes para las decisiones relacionadas con las inversiones en cambio climático. Así, el análisis descriptivo sostiene que la tasa de descuento dependerá principalmente de los rendimientos reales que las sociedades puedan obtener con inversiones alternativas. Los distintos países del mundo tienen a su alcance una amplia gama de posibles inversiones: pueden gastar más en sus hogares, en sus sistemas de educación, en la atención preventiva de la salud, en las economías del resto del mundo..., o en la reducción de las emisiones de carbono.

En un contexto como el actual, con presupuestos estatales muy ajustados y notables restricciones financieras, los rendimientos de estas inversiones podrían ser muy altos. Por tanto, el enfoque prescriptivo que aboga por una tasa de descuento muy baja simplemente no tiene sentido desde el punto de vista económico. Si los préstamos en los mercados financieros internacionales llegan al 5 o 10 por ciento, no destinaríamos

unos recursos que son escasos a parques eólicos cuyo rendimiento sea del 1 por ciento anual. De acuerdo con la visión descriptiva, la tasa de descuento se debe determinar principalmente por el coste de oportunidad del capital, que se fija de acuerdo con la tasa de rendimiento de las inversiones alternativas.

Estimaciones de tasas de descuento

Al estimar el coste de oportunidad para el enfoque descriptivo, los economistas analizan la tasa de rendimiento de las inversiones alternativas. Por ejemplo, en los últimos cuarenta años, las cifras para Estados Unidos nos dicen que los rendimientos reales (después de considerar los impuestos sobre el capital) rondan, en promedio, el 6 por ciento. Las tasas reales derivadas del rendimiento de la inversión en capital humano (educación) van del 4 al 20 por ciento anual, dependiendo del lugar, el tiempo, el tipo de educación recibida... Las inversiones inmobiliarias acostumbran a tener rendimientos reales en el rango del 6 al 10 por ciento, aunque su comportamiento fue a menos tras el pinchazo de la «burbuja» inmobiliaria, allá por 2007. En cuanto a las inversiones asumidas en el ámbito del ahorro energético, a menudo se estima que van del 10 al 20 por ciento.[155]

Mis propios estudios sobre esta cuestión se basan generalmente en el enfoque descriptivo, es decir, en la estimación del coste de oportunidad. Por lo general, aplico una tasa de rendimiento real del capital de alrededor del 4 por ciento, en el caso de Estados Unidos, y algo mayor, en el resto de países. Si adopto el enfoque descriptivo es porque el capital es escaso, porque hay inversiones alternativas muy valiosas y porque las inversiones climáticas deben medirse con el resto de inversiones disponibles.

Los gobiernos también deben estudiar las tasas de descuento a la hora de tomar decisiones: gasto en carreteras, construcción de presas o diques, regulaciones ambientales... En virtud de la circular A-94, el gobierno federal obliga a sus agencias a emplear una tasa de descuento real del 7 por ciento anual en sus análisis. La justificación es básicamente la misma que para el enfoque descriptivo que se ha dado anteriormente: «Esta tasa se aproxima a la tasa de rendimiento marginal antes de impuestos de una

inversión promedio en el sector privado, de acuerdo con las cifras de los últimos años». También se toma en consideración el planteamiento prescriptivo «cuando la regulación afecta principalmente al consumo privado», puesto que para dichos supuestos se apuesta por calcular «una tasa de descuento más baja». A veces se habla de esta revisión como la «tasa social de preferencia temporal».

Si tomamos la tasa que usa el ahorrador medio para descontar el consumo futuro como medida de la «tasa social de preferencia temporal», entonces la tasa real de rendimiento de la deuda pública a largo plazo puede proporcionar una aproximación justa. Para los últimos treinta años, dicho indicador ha promediado alrededor del 3 por ciento en términos reales, antes de impuestos.[156]

El planteamiento del gobierno federal es algo confuso. En la tasa del 7 por ciento se estiman las ganancias del capital empresarial apalancado, de modo que se incorpora el riesgo, mientras que en la tasa del 3 por ciento se alude al endeudamiento (sin riesgo) del gobierno federal de Estados Unidos. Pero, por fortuna, aunque el análisis contiene estos puntos discutibles, lo cierto es que los porcentajes resultantes de su enfoque son lo suficientemente razonables para aplicarlos en nuestros cálculos.

Descuento y crecimiento

El enfoque del coste de oportunidad asume que Estados Unidos y otras economías continuarán creciendo a lo largo del próximo siglo de manera similar a la del siglo pasado. Como consecuencia de dicha proyección, se estima que los estándares de vida aumentarán rápidamente en las próximas décadas. ¿Es ésta una suposición acertada? ¿O acaso podemos anticipar un freno a los avances tecnológicos que soportan el crecimiento?

Por supuesto, no hay forma de responder estas preguntas de forma definitiva. Sin embargo, la mayoría de las investigaciones sobre el crecimiento económico a largo plazo sugieren que la hipótesis del crecimiento continuado es la apuesta más razonable. Después de todo, las revoluciones de la información y la biotecnología acaban de comenzar. Además, otros países pueden crecer significativamente sólo poniéndose al

día con las mejores prácticas en todo el mundo, lo que a su vez genera nuevos mercados de importación y exportación para el mundo rico. Los datos son claros: las fuerzas de la globalización están trayendo importantes ganancias de productividad a las regiones de bajos ingresos.

Pero recordemos que si esta proyección fuese incorrecta, entonces las estimaciones económicas que subyacen a los modelos climáticos también serían erróneas. Los modelos que estiman un calentamiento rápido en el próximo siglo también suponen que viviremos un rápido crecimiento en los estándares de vida y, por lo tanto, experimentaremos un aumento en las emisiones de CO_2. Una mirada retrospectiva a la figura 13 nos recuerda que un crecimiento económico más lento nos llevaría a un futuro diferente de las proyecciones estándar, tanto en lo relativo a la producción como en todo lo tocante al clima.

El lento crecimiento de Estados Unidos y otros países desarrollados después de la crisis que estalló en 2007 ha generado miedos renovados sobre un estancamiento económico futuro. Sin embargo, ese crecimiento más lento se explica por una demanda inadecuada, no por una disminución de la productividad. Además, los países pobres se han desempeñado mejor que los países ricos, a pesar de que éstos moderaron su crecimiento. El PIB per cápita de los países en desarrollo de Asia oriental creció un 8,5 por ciento anual en la última década. Los países en desarrollo del África subsahariana crecieron también durante dicho período, a una tasa media del 2,5 por ciento.[157]

El futuro económico no será de vino y rosas para todo el mundo. Pero la investigación económica nos recuerda que el crecimiento seguirá siendo robusto, y nos invita a pensar en la forma de acompasar dichos avances con medidas que contengan el calentamiento que genera la subida de las emisiones de CO_2.[158]

Aplicación a las inversiones de cambio climático

A continuación toca explorar los conceptos de descuento a la política de cambio climático. Por lo general, los expertos comparan el coste de las reducciones de emisiones en la actualidad con el valor asignado a la reducción de daños en el futuro. Así, supongamos que invertir hoy 10 millones de dólares en energía eólica reduce los daños del cambio climático en 100 millones para un período de cincuenta años. ¿Vale la pena invertir en este proyecto, habida cuenta de las alternativas disponibles?

Para responder a esta pregunta, calculamos el factor correspondiente: $(1,04)^{-50} = 0,141$. Este cálculo indica que, con una tasa de descuento del 4 por ciento, el beneficio futuro de 100 millones, esperado para dentro de medio siglo, tiene un valor presente de 14,1 millones. Dado que el valor presente del beneficio futuro supera el coste de 10 millones asumido para apostar por la energía eólica, podemos decir que el supuesto es económicamente justificable.

La tabla 7 muestra el valor presente para diferentes tasas de descuento. Una tasa de descuento elevada reduce el resultado de los cálculos de valor presente. Para la tasa de descuento que aplica el gobierno (7 por ciento), la inversión de 100 millones no pasaría el filtro coste-beneficio, puesto que el valor neto sería de –6,6 millones de dólares (valor presente de 3.394.776, menos un coste de 10.000.000). Sin embargo, las tasas de descuento reducidas (por ejemplo, un 1 por ciento anual) no reducen prácticamente nada el valor futuro.

La tabla 7 sugiere que la tasa de descuento puede ser el factor más importante a la hora de determinar el valor de una inversión a largo plazo. Sin embargo, esta intuición toma vuelo para cálculos aplicados a horizontes de tiempo muy largos. Para poner a prueba esta noción, me pregunté cuánto valdrían 100 dólares invertidos por Cristóbal Colón en 1492, con una tasa de rendimiento del 6 por ciento. En mi cabeza, el número era mucho menor que el que me encontré cuando empleé una calculadora. ¡La suma que habría cobrado Colón sería, de hecho, mayor que toda la riqueza existente hoy en el mundo!

TABLA 7 **La tasa de descuento altera el valor presente de 100 millones de dólares**

Tasa de descuento (% anual, en términos reales)	Valor presente de una reducción de daños equivalente a 100 millones de dólares dentro de cincuenta años
1	60.803.882
4	14.071.262
7	3.394.776
10	851.855

Ética y tasa de descuento

Muchas personas están preocupadas porque temen que se le asigne un valor demasiado pequeño a los daños climáticos futuros. ¿Cómo podemos ser tan poco sensibles ante el futuro de nuestro planeta? ¿No estamos perjudicando a las generaciones futuras si asumimos un planteamiento así?

Descontar los beneficios futuros no implica indiferencia hacia el mañana. Debemos recordar que el capital es productivo. Las sociedades tienen una amplia gama de inversiones productivas entre las que elegir. Invertir en frenar el cambio climático es una opción, pero también hay muchas otras encima de la mesa, a menudo con altos niveles de retorno. No se puede ignorar esta realidad.

Necesitamos invertir en investigación y desarrollo para consolidar nuevas tecnologías de energía baja en carbono. También es importante invertir en las tecnologías que permiten que los países de ingresos bajos prosperen en un entorno climático más cálido. Otro campo que necesita capital es el de la investigación sanitaria contra las enfermedades tropicales. Y no olvidemos tampoco lo importante que es inyectar fondos en la formación de los trabajadores del mañana, que lidiarán con un mundo cambiante y sorprendente. Todos estos puntos aluden a inversiones productivas cuyos beneficios se acumulan para las generaciones futuras.

Pero también hay que pensar en el interés compuesto, que elude nuestras primeras intuiciones pero, calculadora en mano, nos recuerda el verdadero valor de las inversiones. El poder exponencial del interés compuesto convierte pequeñas bellotas de inversión en gigantescos robles

financieros. A una tasa de interés monetario del 6 por ciento, los 26 dólares que costó la compra de Manhattan en 1626 se traducirían hoy en 152.000 millones de dólares.

Es importante entender la diferencia entre una tasa de descuento muy baja y el resto de tasas de descuento. Lo vemos en la tabla 7. En dicho ejemplo, la tasa de descuento más baja estima que el valor de las inversiones climáticas a cincuenta años es más de cuatro veces superior que el valor aplicable a la tasa de descuento del 4 por ciento. La diferencia se ensancha si estimamos el impacto a cien o doscientos años. Esto nos ayuda a entender la lógica del análisis coste-beneficio del *Informe Stern* y otros estudios. Con tasas de descuento más bajas, la acción temprana es favorable porque los daños futuros cuentan menos.

La pesada carga de una tasa de descuento muy baja

¿Cómo podríamos incorporar en todo esto nuestras obligaciones con las generaciones venideras? Pensemos en nuestra propia familia. Como padres, sentimos una honda preocupación por el bienestar de nuestros hijos, cuya seguridad, bienestar, salud y felicidad procuramos asegurar. También nos preocupamos por nuestros nietos, pero en ese caso sabemos que sus padres, que son nuestros hijos, asumirán el rol protagónico en dicho cuidado. Esto resulta en un «descuento de ansiedad», porque el mundo de nuestros nietos ya no será tan nuestro, pero confiamos en que nuestros hijos estarán ahí para preservar su seguridad, bienestar, salud y felicidad, tal y como nosotros hicimos por ellos.

Para entenderlo numéricamente, supongamos que nuestro «descuento de ansiedad» generacional es del 50 por ciento. Por tanto, nuestra ansiedad es de 1 para nuestros hijos y de ½ para los nietos, alcanzando ¼ en el análisis de los bisnietos. La suma sería: $1 + ½ + (½)^2 + (½)^3 + ... = 2$. En el ámbito de las políticas climáticas otorgamos a nuestros hijos y a sus descendientes un peso idéntico. Podríamos usar diferentes ponderaciones para incorporar alguna suerte de descuento intergeneracional, pero no es éste el enfoque dominante.

Ahora tomemos el ejemplo del descuento cero, recomendado a veces por los filósofos. En este ejemplo supondremos que no hay «descuentos de ansiedad» para las generaciones futuras, de manera que estaremos tan ansiosos por nuestros nietos como por nuestros hijos, por nuestros tataranietos como por nuestros bisnietos, etc. Para regresar al planteamiento numérico, la suma de ansiedades no descontadas sería infinita (es decir, igual a 1 + 1 + 1 + ... = ffi). En esta situación, nos disolveríamos en un mar de ansiedad por todas las cosas que podrían salir mal en generaciones lejanas: asteroides, guerras, robots descontrolados y todo tipo de desastres. Simple y llanamente, no podríamos decidir qué hacer. El descuento cero actúa, por tanto, como una carga infinitamente pesada sobre nuestros hombros. Quizá este argumento suena como un poco de pseudomatemática escamosa, pero ése es exactamente el análisis matemático del descuento cero que ha realizado el economista Tjalling Koopmans, premio Nobel de la disciplina.[159]

Necesitamos usar una tasa de descuento que refleje las oportunidades reales de mercado que enfrentan las sociedades. No podemos sacarnos de la manga una definición abstracta de equidad que se abstrae de nuestra realidad económica. La lógica del descuento de mercado no es egoísta, puesto que no sostiene que debamos consumir todos nuestros ingresos y dejar de hacer inversiones que ayuden a proteger nuestro mundo o las generaciones futuras, como tampoco sostiene que debamos ignorar los impactos negativos del crecimiento en las décadas futuras. Más bien, este enfoque refleja el hecho de que hay muchas inversiones de alto rendimiento que pueden mejorar la calidad de vida de futuras generaciones y, por tanto, no podemos ignorarlas. La tasa de descuento debe establecerse de modo que nuestros recursos se destinen a los usos más productivos. Una cartera de inversiones eficiente incluiría, sin duda alguna, medidas para reducir el calentamiento global..., pero también recogería inversiones en otras áreas prioritarias: sistemas de salud para el hogar, soluciones y curas para las enfermedades tropicales, educación accesible para todo el mundo, investigación básica sobre todo tipo de nuevas tecnologías... Las

inversiones para reducir el calentamiento global deberían competir con este otro tipo de inversiones y la tasa de descuento es la vara de medir que nos ayuda a comparar entre esas opciones competitivas.

Resumen de enfoques

En línea con todo lo indicado en la tercera parte del libro, hay tres puntos centrales que debemos enfatizar a la hora de zanjar la discusión sobre los costes de la desaceleración del cambio climático:

- Los análisis económicos y de ingeniería indican que es posible mantener el cambio climático dentro de límites seguros. Si se realizan esfuerzos solventes y eficientes que cuenten con la participación plena de las distintas economías del mundo, se puede cumplir el objetivo de Copenhague de limitar el calentamiento a 2 grados centígrados. Incluso si estos esfuerzos se retrasan y algunos países no participan, es razonable hablar de limitar el calentamiento a 3 grados centígrados. Los estudios económicos sugieren que el coste de limitar el cambio climático a 2,5 o 3 grados centígrados sería del 1 por ciento (o menos) del ingreso mundial, descontando que las políticas aplicadas son razonablemente eficientes.
- Esta perspectiva optimista debe ser matizada por una advertencia muy seria: los planes de acción tienen que conseguir soluciones cooperativas y eficientes. La cooperación supone que la mayoría de los países del mundo participen en las estrategias climáticas lo antes posible, como muy tarde dentro de un par de décadas. Si los países pobres y de ingresos medios se niegan a unirse al esfuerzo, y si Estados Unidos sigue manteniéndose al margen, los costes de alcanzar un objetivo de temperatura ambicioso aumentarán considerablemente y los objetivos de Copenhague se volverán inviables.
- La eficiencia requiere no sólo una participación casi universal, sino también la búsqueda de una cierta rentabilidad. Por tanto, pasa por que todos los sectores y países tengan costes marginales de reducción de emisiones que resulten ser más o menos iguales. Un programa

eficiente contra el cambio climático no puede funcionar si se dan costes de reducción marginal muy distintos en los sectores y países involucrados.

Pero este resumen deja muchas preguntas abiertas. ¿Qué objetivos concretos deberían establecer los gobiernos para contener el cambio climático? ¿Cómo se relacionan todas esas metas con los objetivos que se establecieron en Copenhague? ¿Qué mecanismos deben emplearse para inducir a las personas y las empresas a tomar las decisiones que ayuden a reducir la curva de emisiones de CO_2? Éstas son las preguntas a las que nos enfrentaremos en la cuarta parte del libro.

CUARTA PARTE

Políticas e instituciones para frenar el cambio climático

> La mejor tirada que puedes hacer con unos dados es la que consiste en tirarlos... a la basura.
>
> PROVERBIO INGLÉS

17

Perspectivas históricas de política climática

En las secciones anteriores hemos examinado distintos aspectos del «casino del clima». La ciencia que explica los procesos de calentamiento, los impactos del cambio climático en la vida humana y salvaje, los costes de reducir los daños... Toda la información disponible apunta a que la única forma segura de evitar un cambio climático peligroso implica reducir las concentraciones de CO_2 y otros gases de efecto invernadero. No obstante, un análisis de los costes que implica dicha solución muestra que el desembolso puede ser muy elevado, sobre todo si no existe un concierto internacional que conduzca a la aplicación ordenada de mecanismos eficientes de control.

Ahora es el momento de poner todas las piezas juntas y empezar a resolver este rompecabezas:

- ¿Qué pueden hacer los gobiernos para establecer un objetivo de temperatura razonable en el marco de la política contra el cambio climático? ¿Cuánto deben reducirse las emisiones?
- ¿Cómo se vinculan las políticas nacionales con las declaraciones que se han firmado a nivel global, en Kioto, Copenhague, Cancún y otras cumbres dedicadas a la cuestión climática?
- ¿Las acciones efectivas sobre el cambio climático implican que todos los países coordinen sus políticas? ¿Qué mecanismo de aplicación puede ayudar a involucrar a aquellos gobiernos que se muestran reacios?
- ¿Cómo pueden los gobiernos garantizar que las personas y las empresas toman las medidas necesarias para cumplir con los objetivos fijados?

- ¿Qué políticas ayudan a incentivar los inventos, las innovaciones y el despliegue de tecnologías bajas en carbono, creando así las condiciones esenciales para hacer una transición inteligente hacia un clima más estable?

Científicos y legisladores llevan muchos años intentando encontrar soluciones a estos dilemas. Un informe de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos indica, por ejemplo, que la clave es reducir drásticamente las emisiones en el país norteamericano y limitar el aumento global de las temperaturas a 2 grados centígrados.[160] Organismos científicos de todo el mundo hacen planteamientos similares, y no pocos líderes políticos han acordado seguir este enfoque y centrar las acciones políticas en limitar el aumento esperado en la temperatura del planeta.

La tarea que aborda este capítulo pasa por ir más allá de esos objetivos de referencia y examinar cómo se han determinado dichos umbrales. Puede parecer sencillo establecer metas concretas para avanzar contra el cambio climático. Podemos, por ejemplo, elegir un objetivo de temperatura que mantenga al mundo a salvo de los niveles de calentamiento que nos acercan a los puntos de inflexión que tanta incertidumbre generan. Otra fórmula consistiría en determinar cómo medimos la evolución de las especies y establecer que no se puede tolerar una tasa de extinción superior a un umbral determinado. Incluso podemos fijarnos en la capa de hielo de Groenlandia y determinar objetivos concretos que se refieran a su dimensión y alcance. Pero ninguna de estas propuestas nos da una pauta simple e inequívoca que nos permita determinar de forma certera los objetivos climáticos.

Los objetivos de temperatura se han convertido, con el paso de los años, en el foco de la conversación. Sin embargo, si la política se basa simplemente en un objetivo numérico de calentamiento, probablemente es porque dichas medidas se han desarrollado a partir de una base científica incompleta o débil. Hace falta considerar también otras cuestiones. Por ejemplo, ¿de qué sirve hablar de 2 o 3 grados centígrados de aumento si no tenemos en cuenta también el coste de lograr dichas metas? Tenemos que perseguir temperaturas más reducidas, eso es evidente, pero ¿qué hay del

coste? Quizá si el precio de cumplir una determinada meta es demasiado elevado, puede que convenga fijar un objetivo más alto que redunde en costes más bajos.

En última instancia, que no podemos establecer objetivos de política climática sin tener en cuenta las dinámicas de la economía. Debemos considerar tanto los costes como los beneficios. Tan importante como saber a dónde nos dirigimos es conocer cuánto nos cuesta llegar a la meta.

Acuerdos internacionales sobre cambio climático

Empecemos por la primera declaración mundial sobre los objetivos del cambio climático. La base para las deliberaciones internacionales sobre cambio climático es la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, ratificada en 1994. Este tratado establece que «el objetivo final [...] es lograr [...] la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que limite la interferencia antropogénica (humana) que pone en peligro el sistema climático».[161] Este planteamiento es demasiado vago y genérico a la hora de tomar medidas, porque no plantea qué supone exactamente a qué se refiere al hablar de una «interferencia antropogénica» de naturaleza «peligrosa». Sin embargo, es normal que este documento tuviese estas características, puesto que se trataba de un mero punto de partida.

El primer acuerdo internacional vinculante sobre cambio climático fue el Protocolo de Kioto, firmado en 1997. Este compromiso citaba el objetivo de la Convención Marco que se refería a la importancia de prevenir la interferencia antropogénica peligrosa en el sistema climático.[162] Pero, a la hora de pasar a la acción, Kioto tomaba medidas y exigía que ciertas naciones redujesen sus emisiones. El Anexo I que fijaba dicha obligación incluía solamente a los países de rentas altas y las economías emergentes más prósperas. El resultado general era que, para el período 2008-2012, estos países acordaban reducir sus emisiones de CO_2 y otros GEI hasta situarlas un 7 por ciento por debajo de las cifras observadas en 1990. Sin embargo, aunque sí se concretaba la reducción de emisiones, no se desarrollaba de forma clara cuál era el objetivo final que se quería cumplir.

De hecho, tampoco se introdujo ningún mecanismo que alentase la participación o previniese la figura del *free rider*, es decir, del país que no toma medidas y mejora su posición económica relativa al desmarcarse de los ajustes asumidos por el resto de naciones. Capítulos posteriores se ocupan de las falencias de Kioto pero, con ánimo de anticipar conclusiones, basta indicar que dicho Protocolo fracasó a la hora de reducir sustancialmente las emisiones y tampoco tuvo éxito a la hora de vincular a un número lo suficientemente amplio de países.

La reunión de Copenhague en diciembre de 2009 supuso un nuevo esfuerzo en materia de lucha internacional contra el cambio climático. Esta cumbre no logró su objetivo central: conseguir que, a partir de 2012, entrasen en vigor límites vinculantes que lograsen reducir las emisiones de CO_2. No obstante, Copenhague sí logró adoptar un límite de temperatura objetivo que se convirtió en la referencia para formular políticas climáticas. En el Acuerdo de Copenhague, los países reconocen «la opinión científica de que el aumento de la temperatura global debería estar por debajo de los 2 grados centígrados», de manera que, por primera vez, se establece un objetivo climático de referencia en una conferencia de índole mundial.[163]

El objetivo de limitar el cambio climático a 2 grados centígrados de calentamiento por encima de niveles preindustriales ha sido ampliamente aceptado por gobiernos, científicos y grupos ambientalistas. Antes incluso de la reunión de Dinamarca, la Comisión Europea aprobó una declaración que proclamaba que «para evitar un cambio climático global de consecuencias irrevocables, se debe limitar el calentamiento a no más de 2 grados centígrados respecto a la temperatura de los años preindustriales». En la misma línea fue la reunión del G-8 en L’Aquila, allá por julio de 2009: «Reconocemos la perspectiva científica que sostiene que el aumento de la temperatura media global no debe exceder los 2 grados centígrados respecto a los niveles preindustriales». Este tipo de pronunciamientos ha sido replicado por muchos gobiernos y foros de alto nivel.[164]

¿Por qué 2 grados centígrados? Las bases científicas del umbral de referencia

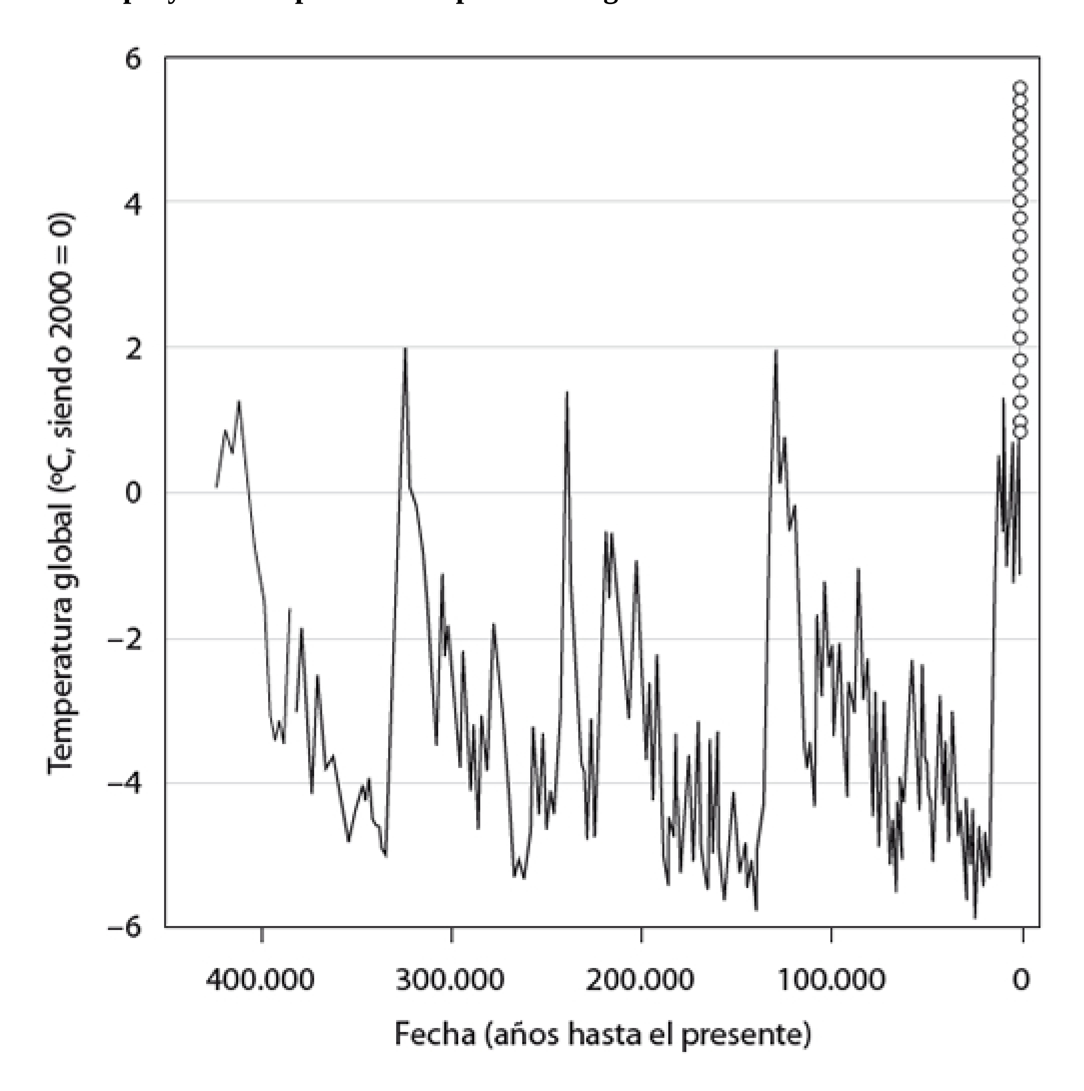
Muchas de las declaraciones se comprometen, directa o indirectamente, con «la visión científica» que aconseja el objetivo de los 2 grados centígrados. Pero, ¿de dónde viene esa meta? ¿Hay ciencia sólida detrás de dicho pronunciamiento? ¿Y qué pasa si el calentamiento excede estos niveles? ¿Habría consecuencias peligrosas o, cuando menos, serias si se rebasasen los 2 grados centígrados de calentamiento?

La sorprendente respuesta a estas preguntas es que, en realidad, el objetivo de los 2 grados centígrados no es realmente un umbral aconsejado por el consenso científico.[165] Por ejemplo, a la hora de explicar este umbral, la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos vino a decir lo siguiente: «La investigación científica ha tratado de comprender y cuantificar los vínculos entre las emisiones de GEI, las concentraciones de GEI en la atmósfera, los cambios en el clima global y los impactos que tienen esos cambios en los sistemas humanos y ambientales. Sobre la base de esta investigación, numerosos formuladores de políticas medioambientales han planteado que limitar el aumento de la temperatura media de la superficie global a 2 grados centígrados por encima de los niveles preindustriales es un avance importante que permite establecer un objetivo de referencia. Dicho objetivo viene recogido en los Acuerdos de Copenhague y también ha sido secundado por el G-8 y otros foros políticos internacionales».[166] De modo que los políticos dicen que han llegado al umbral de los 2 grados centígrados a través de la ciencia..., pero los científicos dicen que quienes han determinado este umbral son los políticos.

Si revisamos los argumentos existentes, encontramos tres justificaciones para el objetivo de temperatura. La primera es que la temperatura global máxima experimentada durante el último medio millón de años es aproximadamente 2 grados centígrados superior a los niveles actuales, de modo que rebasar dicho umbral sería potencialmente peligroso. La segunda es que ajustes ecológicos pueden ser difíciles más allá de este aumento de temperatura. La tercera es que, una vez la temperatura sube más de 2 grados centígrados, se rebasan umbrales poco aconsejables que pueden desatar acontecimientos cada vez más peligrosos.

Comencemos por la primera razón, que se basa en datos climáticos históricos. La figura 28 muestra una reconstrucción del cambio de la temperatura global en el último medio millón de años. Las estimaciones más antiguas se derivan de núcleos de hielo de la Antártida.[167] Son cálculos que ofrecen una cierta orientación, aunque pueden incluir desviaciones potencialmente significativas, porque sólo analizan una región muy determinada.[168] Al año 2000 se le asigna el valor de 0 grados centígrados para permitir una comparación con otras épocas. Cuando la línea desciende por debajo de cero, se observan tendencias de enfriamiento, así como las llamadas «Edades del Hielo». Cuando ocurre lo contrario, estamos ante períodos cálidos o interglaciales (altas temperaturas globales).

FIGURA 28 **El gráfico muestra la estimación de la temperatura global para más de 400.000 años, así como proyecciones para los dos próximos siglos**



Nota: Los datos incluyen la reconstrucción de las temperaturas globales realizada a partir del hielo de la Antártida. Se presenta la temperatura actual como 0 grados centígrados, siendo también la actualidad el año 0 de la serie. Si la temperatura sigue la trayectoria esperada, el calentamiento estará muy por encima de lo observado en cientos de miles de años.

Según esta reconstrucción, las temperaturas globales pueden haber sido hasta 2 grados centígrados más altas que en la actualidad, pero estos períodos cálidos duraron intervalos relativamente cortos. Y, hasta donde sabemos, ese umbral de los 2 grados centígrados es el más alto de todo el período histórico analizado.

La figura 28 incluye una línea creciente en la parte superior derecha. Dicha trayectoria se corresponde con las proyecciones de temperatura de los próximos doscientos años, de acuerdo con el modelo DICE de Yale que asume un escenario de cambio climático sin medidas de mitigación. Como hemos establecido, otros modelos arrojan conclusiones similares. Si se cumple este escenario, se superarían límites muy peligrosos, que nunca antes se han dado en el planeta, de acuerdo con los registros de los núcleos del hielo de la Antártida.

Sería necesario retroceder mucho más en el tiempo geológico o la historia biológica para encontrar temperaturas tan altas como las proyectadas para los próximos siglos. Si bien estas mediciones son sólo aproximativas, los expertos que han estudiado esta cuestión con los plazos más anchos de todos encuentran que, hace 500 millones de años, la Tierra tuvo temperaturas máximas que superan los niveles preindustriales en 48 grados centígrados. Las concentraciones de CO_2 fueron hasta ocho veces mayores en el período Jurásico, habiendo alcanzado registros aún mayores en épocas anteriores. Estos niveles más altos no son sorprendentes porque los combustibles fósiles de hoy son el resultado de la descomposición de la vegetación de estos períodos en los que se dieron concentraciones mucho más altas de CO_2.

Hace muchos años sugerí que las temperaturas paleoclimáticas extremas podrían servir como objetivo de referencia. Mi razonamiento era el siguiente: «Como primera aproximación, parece razonable argumentar que los efectos climáticos del dióxido de carbono deben mantenerse dentro del rango normal de variación climática para el largo plazo. Según la mayoría

de las fuentes, el rango de variación entre distintos regímenes climáticos es del orden de más/menos 5 grados centígrados y, en la actualidad, el clima global está en el extremo superior de dicho rango. Si se diera un aumento de las temperaturas globales de más de 2-3 grados centígrados, el clima del planeta se situaría fuera del rango de observaciones que se han realizado en los últimos cientos de miles de años».[169]

El influyente Consejo Asesor Alemán sobre Cambio Global adoptó objetivos de referencia tomando como base las tendencias históricas registradas hasta 1995. El organismo teutón sugirió que la política climática debería establecerse con respecto a una «ventana de temperatura tolerable» que considerase la fluctuación de la temperatura media de la Tierra para los últimos cientos de miles de años. Este organismo estimó que el planeta está hoy cerca del extremo superior del rango de temperaturas observado y, partiendo de dicho hallazgo, propuso que se extendieran los umbrales analizados en 0,5 grados centígrados, tanto por la parte superior como por el tramo inferior. Desde esta perspectiva, el Consejo Asesor calculó que el aumento máximo tolerable por encima de la temperatura de 1900 sería de aproximadamente 2 grados centígrados.[170]

La segunda justificación para el objetivo de 2 grados centígrados se basa en argumentos ecológicos. En 1990, un grupo asesor de la Organización Meteorológica Mundial apuntó que un calentamiento global de 2 grados centígrados supondría alcanzar «un límite superior más allá del cual se prevé que aumenten rápidamente los riesgos de que se produzcan daños graves en los ecosistemas y de que se desencadenen respuestas no lineales en los comportamientos del clima». De dichos daños y respuestas no lineales se ocupa la segunda parte de este libro, pero las investigaciones científicas no respaldan que sean necesariamente 2 grados centígrados de calentamiento los que producen dicho deterioro.

El *IV Informe de Evaluación* del IPCC analizó los resultados peligrosos que pueden derivarse a partir de diferentes umbrales de calentamiento.[171] A continuación resumo sus conclusiones:

- Con un calentamiento de 1 grado centígrado: mayor escasez de agua, aumento del blanqueamiento de los corales, repunte de las inundaciones costeras, intensificación de las extinciones de anfibios.
- Con un calentamiento de 2 grados centígrados: además de lo anterior, el 20-30 por ciento de las especies enfrentaría un riesgo creciente de extinción y las enfermedades sufridas por el hombre aumentarían.
- Con un calentamiento de 3 grados centígrados: además de lo anterior, disminución de la productividad de la agricultura, aumento a largo plazo de varios metros en el nivel del mar debido al derretimiento de las capas de hielo, crecimiento notable en los problemas de salud del ser humano.
- Con un calentamiento de 5 grados centígrados: además de lo anterior, extinciones a gran escala en todo el mundo, caídas importantes en la productividad agrícola, desaparición del 30 por ciento de los humedales costeros, fuertes inundaciones junto al mar, reconfiguración de la franja costera de los países y cambios en la circulación de las corrientes oceánicas.

Estas proyecciones presentan un cuadro ciertamente perturbador. Sin embargo, se dan como consecuencia de la acumulación de calentamiento, no se desencadenan automáticamente al alcanzarse cada uno de esos umbrales.

La tercera razón ofrecida para defender la limitación del aumento de la temperatura a 2 grados centígrados parte de la noción de que temperaturas más altas pueden generar grandes inestabilidades climáticas y desencadenar los sucesos provocados por el rebasamiento de los puntos de inflexión (ver capítulo 5). En este sentido, considero que la investigación sobre los puntos de inflexión está todavía en pañales, pero sí sabemos que estos escenarios pueden ocurrir de forma repentina e inesperada cuando se alteran los sistemas existentes. Las investigaciones realizadas sobre esta materia indican que se puede incurrir en unos riesgos particularmente peligrosos si la Tierra supera el umbral de los 3 grados centígrados. Sobre esta base, podríamos determinar que el umbral objetivo no tendrían que ser los 2 grados centígrados, sino un grado más. Al mismo tiempo, tenemos que

reconocer que hay un gran margen de error en estas estimaciones. Por tanto, dado que no tenemos una idea clara, parece recomendable ser prudentes y establecer un límite algo inferior como objetivo marco de reducción de emisiones.

De esta evidencia cabe concluir lo siguiente. Si los costes son pequeños, seguramente optaremos por aminorar el cambio climático y las concentraciones de CO_2 al mínimo. ¿Por qué arriesgarnos a dañar las costas, los ecosistemas o las islas más pequeñas si podemos evitar dicho deterioro pagando un precio reducido? No obstante, si el objetivo de un aumento muy bajo de la temperatura implica reducir drásticamente nuestra calidad de vida (con todo lo que implica: ocio, alimentos, vivienda, educación, salud, seguridad...), entonces ya tendríamos que poner las dos variables en la balanza y analizar detenidamente los costes y beneficios. Podemos llegar a la conclusión de que quizá podemos afrontar una agricultura más cara o un nivel del mar más elevado si esto nos permite ahorrarnos inversiones milmillonarias en el ámbito medioambiental. Después de todo, podríamos gastar ese dinero de manera más fructífera en mejorar los cultivos, optimizar la gestión del agua y sus infraestructuras, etc. Por esta vía, el gasto sería menor o igual y apenas modificaríamos nuestra forma de vida. De hecho, por el camino podríamos encontrar tecnologías de bajo coste para la eliminación de carbono (por ejemplo, árboles que lo capturan y lo consumen), de manera que incluso las emisiones de CO_2 podrían bajar a medio o largo plazo. Es importante reconocer, pues, que todo tiene un precio y que tenemos que hablar de políticas climáticas con el foco puesto en costes y beneficios.

La implicación de todo este análisis es que no podemos establecer de forma realista unos objetivos de referencia en materia de cambio climático sin considerar tanto los costes de la desaceleración del calentamiento como los beneficios derivados de evitar los daños. Por tanto, hablar de cambio climático implica hablar de economía.

18

Tomar medidas considerando costes y beneficios

En el capítulo 17 concluimos que un objetivo razonable para la política de cambio climático implica calibrar los daños climáticos y los costes de su reducción. Este enfoque es el que emplean los economistas de forma cotidiana a la hora de analizar diferentes opciones. Se denomina «análisis de coste-beneficio». La idea básica es bastante intuitiva: en un mundo de recursos limitados, debemos hacer inversiones que produzcan los mayores beneficios sociales netos, es decir, optar por las soluciones que aporten un mayor margen de beneficios en relación con los costes asumidos.[172]

Todas las personas realizan análisis de coste-beneficio en su vida cotidiana. A veces, los cálculos son sencillos. Una gasolinera en el vecindario es aparentemente más cómoda, pero si nos cobra 10 céntimos más por litro que otra ubicada a varios kilómetros, ¿acaso no estamos ante un dilema? ¿Vale la pena ahorrarse esos 10 céntimos por litro a cambio de llenar el depósito sin salir del barrio? ¿O es ésa la decisión equivocada?

Algo parecido ocurre cuando ponderamos qué centro universitario es más apropiado para nuestro futuro. Supongamos que nos han aceptado en tres universidades. Llega el momento de escoger una de ellas. Hay que discriminar según su programa formativo, según el coste de matriculación, según las salidas profesionales que ofrece cada centro... Pero no todo son criterios de mercado. También hay factores en juego como el clima, la experiencia social universitaria... Los estudiantes más ricos se centrarán en cuestiones menos económicas, mientras que los más pobres tendrán que priorizar dichas variables. Pero, implícitamente, unos y otros están poniendo en la balanza los costes y los beneficios de su decisión para así llegar a la decisión adecuada.

Análisis coste-beneficio aplicado al cambio climático

En las páginas que siguen aplicaremos el enfoque de coste-beneficio para evaluar diferentes objetivos orientados a frenar el cambio climático. Lo haremos de forma simplificada para determinar qué objetivo de temperatura minimiza los daños sobre el planeta y los gastos asumidos para mitigar perjuicios mayores. En uno solo gráfico (figuras 29, 30, 31 y 32) presento estos distintos escenarios.

La idea de este ejercicio es examinar los costes, los daños y el impacto neto de diferentes metas climáticas. Los objetivos de referencia plantean diversos grados de calentamiento respecto a los niveles preindustriales. Para cada objetivo, estimo los costes de reducción requeridos que permiten mantener el aumento de la temperatura global por debajo del umbral seleccionado. Esa curva de coste es la línea que sigue una pendiente descendente. También calculo los daños del cambio climático para ese objetivo de temperatura: ésa es la línea que se inclina hacia arriba. Los costes y los daños se suman después para determinar los costes totales, que aparecen como una curva en forma de «U». Cada curva presenta, por tanto, la relación de los costes dividida entre el ingreso global total, sobre una base anualizada.

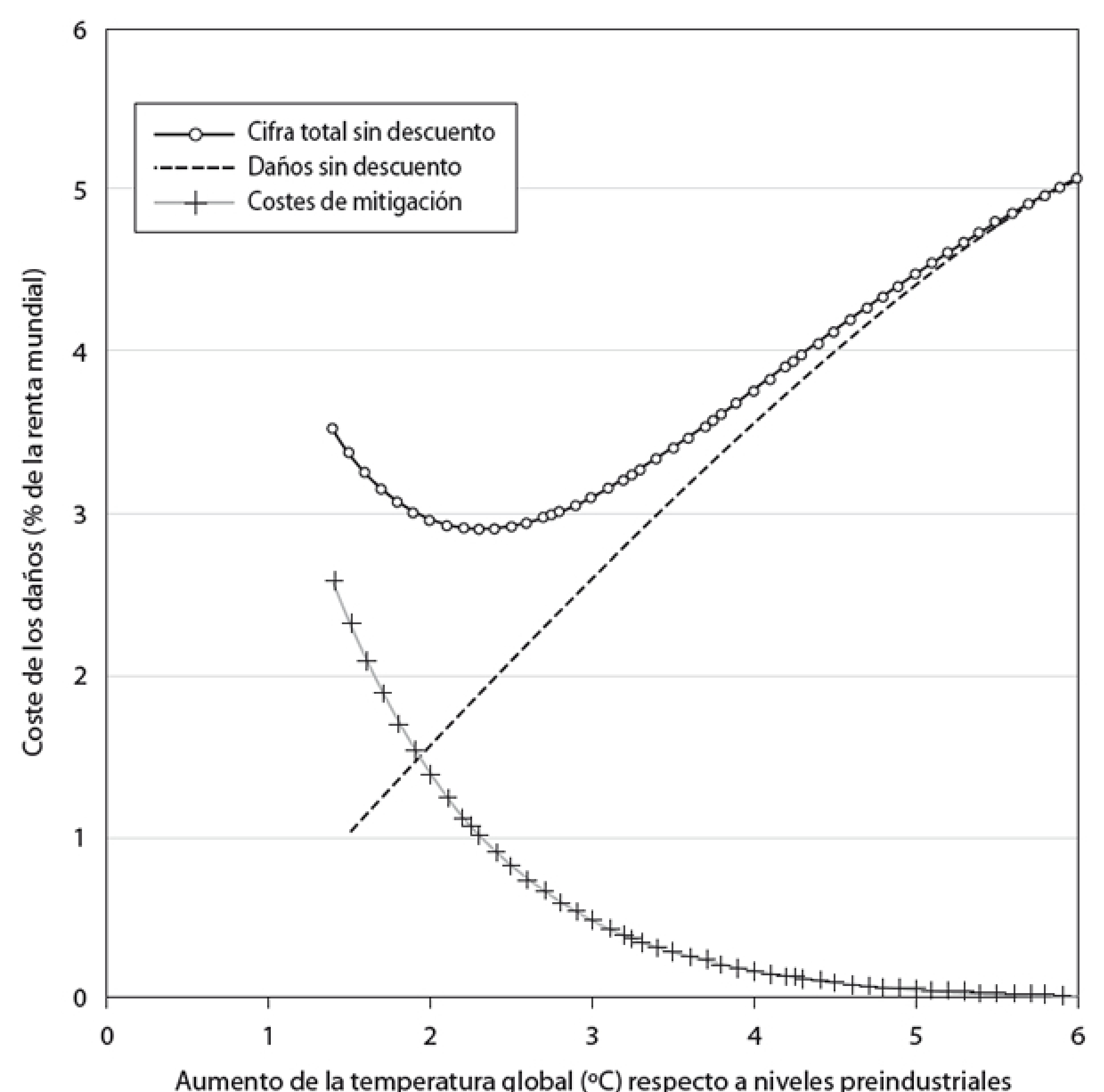
En los capítulos 12 y 15 ya nos hemos referido a estas curvas. Su contenido bebe, por ejemplo, de la figura 22 o la figura 26. Hay que tener en cuenta, eso sí, que en todas estas estimaciones se dejan fuera los costes derivados de los puntos de inflexión o de impactos difíciles de cuantificar como la acidificación de los océanos.[173] Por otro lado, se emplea el mismo tipo de gráfico en aras de simplificar la presentación de los resultados.

El análisis arranca con el planteamiento de políticas eficientes sin descuento. Lo vemos en la figura 29. Este método implica que costes y beneficios se calculan como si sucediesen en un mismo año. Si bien éste es un enfoque poco recomendable para trabajar a fondo estas cuestiones, sí que nos sirve para exponer la situación con mayor transparencia. El supuesto parte de una eficiencia plena y de una participación del 100 por ciento de los países, de manera que los costes de reducción tienden al mínimo. Para este escenario, el coste mínimo es de 2,3 grados centígrados

por encima de los niveles de 1900. Dicho punto de comparación histórica supone medirse con una temperatura media inferior a la actual en 0,8 grados centígrados. Desde esta perspectiva, vemos que los costes de lidiar con el cambio climático son del 2,9 por ciento de la renta mundial, siendo los daños potenciales el doble de altos. Conforme nos movemos fuera de este rango, los costes aumentan considerablemente.

Aquí nos topamos con la primera conclusión relevante de esta sección del libro: si las políticas de cambio climático están bien diseñadas y son totalmente eficientes a la hora de asegurar la disminución prometida en las emisiones, y asumiendo que los costes actuales y futuros son iguales, entonces está justificado el umbral de 2,25 grados centígrados, al menos desde una perspectiva económica. Bajo este supuesto optimista, las inversiones requeridas para frenar el cambio climático son modestas (alrededor del 1 por ciento de la renta mundial). Por tanto, el consenso en torno a los 2 grados centígrados que han alcanzado determinados gobiernos y expertos climáticos parece cercano al objetivo ideal bajo un escenario de eficiencia total, participación universal y enfoque basado en comparar costes y beneficios.

FIGURA 29 **Costes totales de diferentes metas de calentamiento para un escenario de políticas ciento por ciento eficientes, estimadas sin tasa de descuento**



Nota: El gráfico muestra el coste anual sin descuento de reducir las inversiones (curva descendente), los daños esperados para cada escenario (curva ascendente) y los costes totales (curva en forma de «U»). Los valores no incluyen tasa alguna de descuento. El gráfico parte del supuesto ideal en el que se aplican medidas 100 por ciento eficientes con una participación del 100 por ciento de los países. La curva de daños supone que no hay eventos catastróficos o puntos de inflexión.

Avancemos ahora hacia un planteamiento más realista. No debería resultar muy polémico afirmar que es poco probable que los gobiernos alcancen una tasa de eficiencia total y absoluta en sus acciones de

mitigación. Además, parece evidente que no todos los países se sumarán a corto plazo, puesto que muchos ni se lo plantean hasta que transcurran algunas décadas y su nivel de riqueza sea mayor.

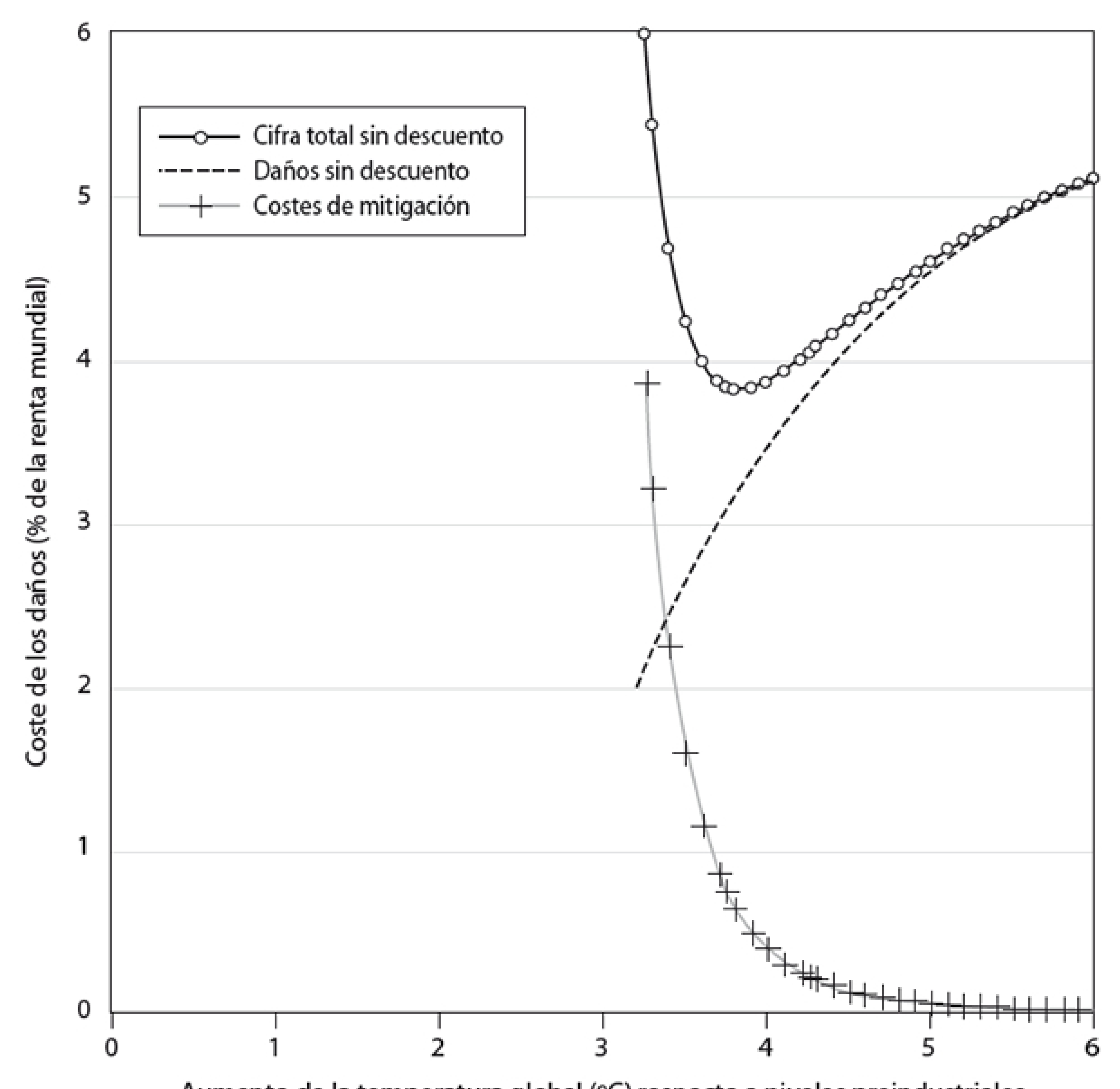
Para este supuesto, asumiremos que los países que se han mostrado menos entusiastas seguirán desmarcándose de los programas de reducción. Recordemos que el Protocolo de Kioto sólo abarcaba la quinta parte de las emisiones globales. Por tanto, el segundo escenario cubre apenas el 50% de las emisiones globales, como resultado de una participación más baja y una menor eficiencia. Ya en la figura 26 se exploraban los efectos de limitar el número de países que se involucra en estos acuerdos. En adelante, seguiremos asumiendo una tasa de descuento cero, para aislar el efecto de la baja participación.

La figura 30 muestra el resultado de este ejercicio. La única diferencia en relación con la figura 29 es que la curva de reducción de costes se desplaza hacia arriba y hacia la derecha, debido a los mayores costes de alcanzar cada objetivo de temperatura. De hecho, con una tasa de participación del 50 por ciento no es posible alcanzar el objetivo de 2 grados centígrados, puesto que las emisiones de las regiones que están fuera del acuerdo terminan empujando la temperatura global por encima del umbral de referencia. Bajo este supuesto, el objetivo de temperatura que minimiza el coste y maximiza los beneficios sube a 3,8 grados centígrados. Igualmente, los costes también aumentan, pasando del 2,9 por ciento de la figura 29 al 3,8 por ciento en la figura 30. Debido a que la reducción se va volviendo más costosa, es económicamente beneficioso disminuir relativamente poco la contaminación y vivir con los daños que ello acarrea, apostando por adaptarse de diversas formas.

Los economistas suelen recomendar la aplicación de una tasa de descuento para comparar inversiones presentes y rentabilidades futuras, como vimos en el capítulo 16. Por lo tanto, el tercer supuesto introduce el factor tiempo en un escenario de participación limitada como el de la figura 30. Recordemos que el descuento desempeña un papel importante en las políticas de cambio climático, porque los costes de reducción de emisiones

ocurren en el presente o el futuro inmediato, mientras que los daños tienen lugar en un futuro más lejano, tras la espera de varias décadas e incluso siglos.

FIGURA 30 **El umbral de calentamiento aumenta con un escenario más ineficiente y sin cálculo de una tasa de descuento**



Nota: Hablamos de un supuesto menos óptimo porque las políticas son menos eficientes y la participación es más reducida. De nuevo, el gráfico muestra el coste anual sin descuento de reducir las inversiones (curva descendente), los daños esperados para cada escenario (curva ascendente) y los costes totales (curva en forma de «U»). No se asumen eventos catastróficos o puntos de inflexión. Los valores futuros no han sido descontados.

Los modelos económicos generalmente resuelven cuál es el umbral máximo de calentamiento que debemos tolerar a base de calcular costes y beneficios con su correspondiente tasa de descuento. Este ejercicio pasa por emplear un modelo de evaluación integrado. Sin embargo, podemos simplificar el resultado expresando todo para un solo año. Esto se hace asumiendo que los daños ocurren cincuenta años después de la reducción, en línea con la inercia física del sistema climático global, que hace que las consecuencias del calentamiento aparezcan con el paso del tiempo.[174] Para reflejar la productividad de las inversiones, aplicaremos una tasa de descuento del 4 por ciento.[175]

La figura 31 muestra los resultados de los cálculos, con descuento y con participación limitada. Es la figura 30 ajustada para incorporar el factor tiempo y su influencia en las decisiones de inversión. La curva de costes para la reducción de emisiones es idéntica, mientras que la curva de daños se desplaza hacia abajo para reflejar que el descuento reduce el valor presente de los daños distantes.

La curva de coste total con tasa de descuento indica que el aumento de la temperatura global que minimiza el coste de lidiar con el calentamiento es de 4 grados centígrados. Esto supone un umbral ligeramente superior al objetivo fijado para el escenario de participación limitada que no incluye descuentos (figura 30). Por lo tanto, el supuesto realista, con descuento y participación limitada, arroja una temperatura objetivo más alta que el caso ideal incluido en la figura 29. La razón principal es la participación limitada, que aumenta el coste de cumplir los objetivos fijados. Si consideramos solamente el efecto de la participación, pasa de 2,3 grados centígrados en la figura 29 a 3,8 grados centígrados en la figura 30. El descuento sólo aumenta dichos niveles en 0,2 grados centígrados más.

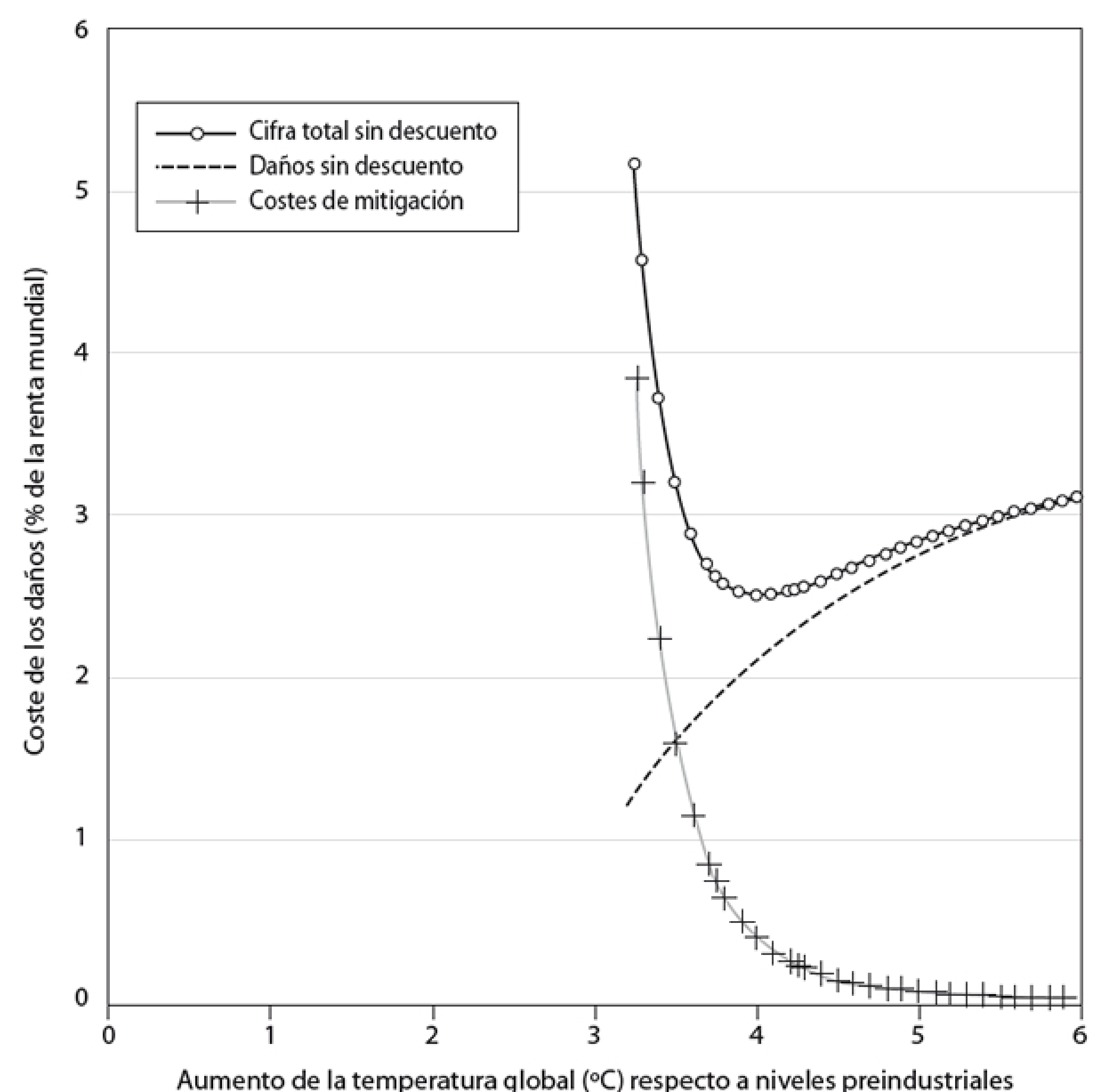
El resultado del descuento que se muestra en la figura 31 es sorprendente. ¿Por qué el descuento altera mucho menos el resultado que la participación limitada? La razón es sutil y la encontramos en la forma de las curvas de daños y costes. La curva de costes es no lineal con participación limitada. Para umbrales de temperatura por encima de los 4 grados centígrados, el coste de reducción derivado de alterar dicho límite es pequeño, mientras que para costes inferiores a 4 grados centígrados vemos

que el coste adicional de la reducción es alto. Por el contrario, si nos fijamos en la curva de daños, vemos que en torno a los 4 grados centígrados tiene una pendiente casi constante y, de hecho, los cambios en dicha trayectoria contribuyen relativamente poco al cálculo del coste mínimo. Por lo tanto, a medida que baja la curva de daño a través del descuento, podemos comprobar que el punto mínimo se mueve relativamente poco. Puede haber diferencias frente a lo planteado en estos modelos, pero nos señalan el papel que desempeña la no linealidad de costes y daños, una cuestión vital a la hora de priorizar y tomar decisiones.

El siguiente escenario, que no se presenta gráficamente, sería uno de plena participación y con descuento. Este supuesto sería el ideal para los «optimistas propensos a los descuentos», que creen que debemos descontar los beneficios futuros pero son optimistas en cuanto al objetivo de lograr la participación casi universal de los diferentes países del mundo. El objetivo de temperatura óptimo para este último caso es de 2,8 grados centígrados, 0,5 grados centígrados más que en la figura 29, a raíz de la introducción del descuento. El resultado es, eso sí, menor que el observado en el supuesto de baja participación sin cálculo de descuento. Esto nos muestra una vez más lo importante que es la participación a la hora de alcanzar el escenario ideal de un cambio climático limitado con reducidos costes asociados a la mitigación de las emisiones de CO_2.

¿Qué debemos concluir de estos análisis de costes y beneficios? Los diagramas están simplificados, pero no demasiado. En esencia, capturan las principales fuerzas que están actuando en este plano. Así, entendemos que los daños son mayores conforme las temperaturas son más altas, que los costes de reducción son mayores a medida que reducimos el umbral de calentamiento máximo que estamos dispuestos a aceptar, que la baja participación es un factor decisivo a la hora de reducir la eficiencia de las políticas climáticas y que los costes asociados a los daños son menores cuando incorporamos una tasa de descuento. Los mejores modelos de evaluación integrada ofrecen detalles adicionales, pero los puntos centrales son, básicamente, los que vienen recogidos en este párrafo.

FIGURA 31 **Costes derivados de distintos objetivos de calentamiento, descontando el ingreso futuro y asumiendo una participación y una eficiencia limitadas**



Nota: Este cálculo presente costes anualizados para un escenario en el que los daños se descuentan al 4 por ciento. Se asume también una ineficiencia en la mitigación derivada del hecho de que sólo se suman algunos países y no todos. Por tanto, el cálculo económico sugiere como objetivo óptimo el umbral de los 4 grados centígrados.

Análisis de coste-beneficio con puntos de inflexión

La mayoría de los análisis económicos del cambio climático excluyen las estimaciones de impacto relativas a los puntos de inflexión y las posibles discontinuidades del sistema terrestre. Lo vemos en las curvas de daño en las figuras 29 a 31. La escala de daños aumenta gradualmente a medida que

las temperaturas globales suben en la escala horizontal. La forma de esta curva se deriva de los estudios de daños recogidos en el capítulo 17. Éste es, de hecho, el enfoque estándar empleado en los modelos de evaluación económica integrada. Por lo general, dichos modelos excluyen los puntos de inflexión, porque no contamos con evaluaciones que clarifiquen su probabilidad, los umbrales que los desencadenan, su impacto económico...

Con algo de imaginación científica y económica, podemos incluir los puntos de inflexión de forma aproximativa. Supongamos que un análisis cuidadoso ha concluido que los daños aumentan considerablemente cuando la temperatura global supera un cierto umbral. Quizá la desintegración de las gigantescas capas de hielo de Groenlandia y la Antártida provocará un rápido aumento en el nivel del mar. Tal vez los rendimientos agrícolas caigan catastróficamente. Es posible que veamos inestabilidad en los patrones monzónicos y que esto altere el comercio en todo el mundo. Evidentemente, estos impactos son especulativos, pero podemos analizar de qué manera deberíamos incorporarlos a los cálculos que nos ocupan.

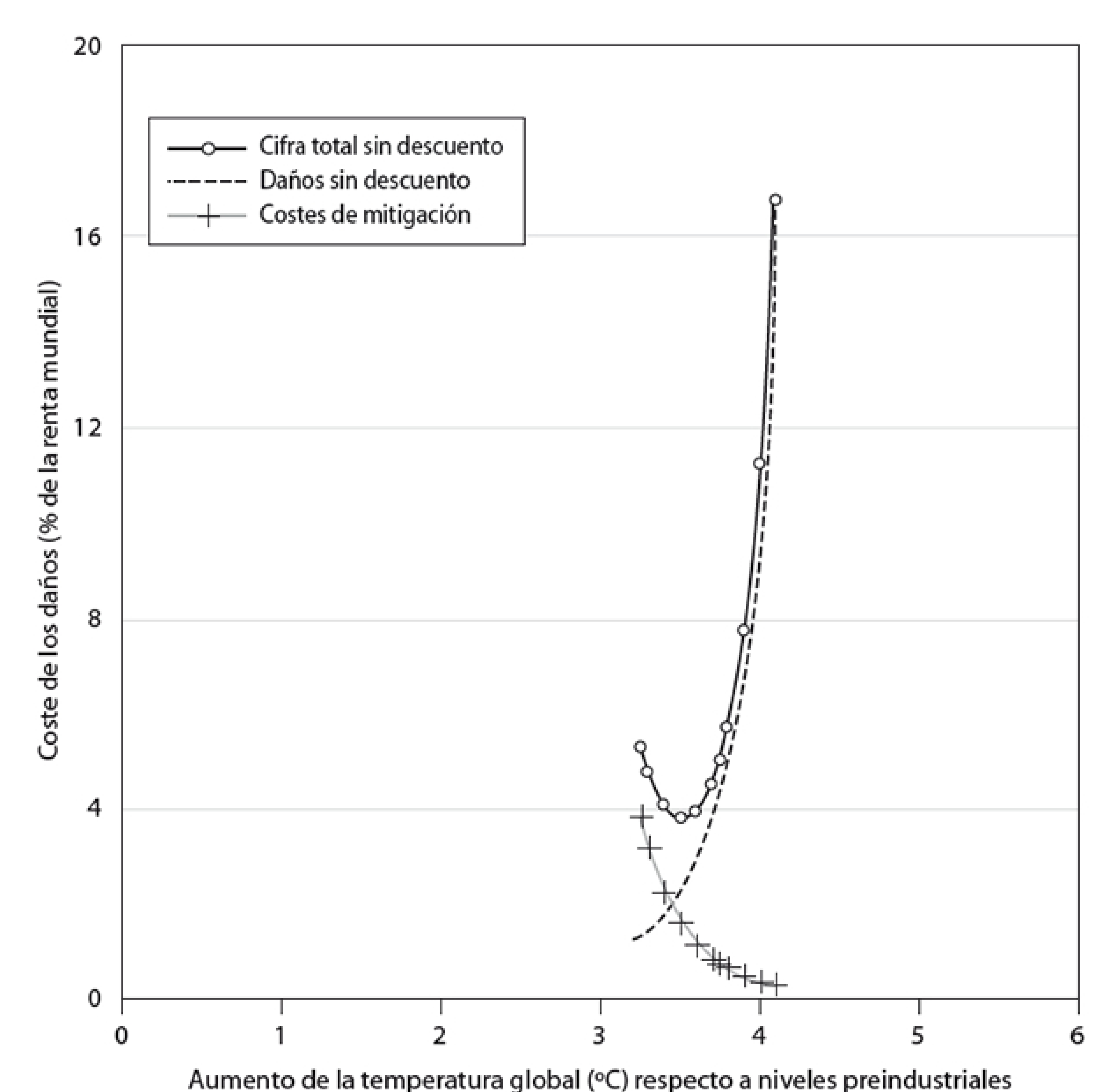
Los umbrales se pueden introducir como una función de daño, en forma de acantilado o de _|.[176] Podemos empezar con una función de daño que incorpore un punto de inflexión a partir de un calentamiento de 3,5 grados centígrados. Para dicha temperatura, los daños derivados de los puntos de inflexión supondrán un coste adicional del 0,5 por ciento de la renta mundial. No obstante, por encima de estas cotas, los daños aumentarían rápidamente y, al llegar a los 4 grados centígrados, se dispararían al 9 por ciento del ingreso mundial, siendo del 29 por ciento en un supuesto de 4,25 grados centígrados de calentamiento. Es importante aclarar que sólo hacemos suposiciones y no hay una base sólida detrás de estas estimaciones, pero esta forma de expresar numéricamente la incidencia de un punto de inflexión ayuda a mejorar el análisis de estos fenómenos.

Si acudimos de nuevo a la figura 31 (con tasa de descuento y participación limitada) pero agregamos el supuesto del punto de inflexión, vemos que la curva de daños sería mucho más pronunciada. El resultado viene reflejado en la figura 32. A partir de 3,5 grados centígrados, la curva se dispara de forma exponencial. Por tanto, ya no habría tanto margen a la hora de fijar el umbral óptimo de calentamiento, puesto que rebasar dichas

cotas dispararía los puntos de inflexión y, con ello, los costes. Al rebasarse los umbrales recomendados, los puntos de inflexión generarían unos daños muy elevados y cada vez más potentes. El análisis coste-beneficio permite ilustrar adecuadamente estos supuestos, pero necesita más ciencia detrás para ser fiel a lo que pueden desencadenar estos fenómenos singulares.

La dificultad de incluir puntos de inflexión no se refiere a la técnica analítica consistente en agregar estos elementos extraños a los modelos. Más bien, el problema es empírico y proviene de nuestra incapacidad para predecir los impactos de daños generados a partir de niveles de calentamiento excesivos. Podemos tomar la figura 32 como ejemplo. Esta curva hace suposiciones sobre tres parámetros: el umbral de calentamiento permitido, el daño que se da para dicha temperatura y la convexidad de la curva. Pero no conocemos ninguno de estos parámetros, incluso a partir de una primera aproximación. El primer parámetro es el punto de inflexión, que aquí se supone que es de 3,5 grados centígrados. No obstante, ya vimos en capítulos anteriores que el punto exacto en el que desencadenan los elementos críticos sigue siendo una incógnita. El segundo parámetro se refiere al daño bajo el escenario de temperaturas máximas admitido por la política climática analizada. Suponemos que los daños totales son aproximadamente del 0,5 por ciento de la renta mundial, pero ésta es simplemente una suposición que carece de base empírica. El tercer parámetro es la convexidad de la curva. De nuevo, la figura 32 es simplemente una ilustración, pero no tenemos evidencia empírica, de modo que la curva podría elevarse de manera más o menos poderosa a partir de umbrales más bajos o más altos. Simple y llanamente, no tenemos ciencia detrás de estas intuiciones. Por tanto, podríamos llegar a encontrar resultados muy distintos, para bien o para mal.

FIGURA 32 **Política climática ante un punto de inflexión pronunciado desde los 3,5 grados centígrados**



Nota: Partimos de un cálculo con tasa de descuento y participación limitada. Este gráfico muestra que el punto óptimo está demasiado cerca del punto de inflexión y que cualquier desviación que lo rebase puede disparar los daños y, con ello, los costes de mitigar dichos procesos.

Análisis coste-beneficio en el «casino del clima»

Podemos usar el enfoque de coste-beneficio de la sección anterior para ilustrar cómo las incertidumbres del «casino del clima» pueden afectar a la política climática. Hay muchas formas de explicar esta cuestión, pero tomaremos como referencia dos ejemplos distintos.

En el primer ejemplo, la política sigue el principio del «valor esperado». Bajo dicho marco, tomamos los escenarios de no inflexión incluidos en las figuras 29 a 31, pero suponemos que no conocemos la magnitud de los daños. Más precisamente, partimos de que existe incertidumbre sobre el tamaño de los daños en cada aumento de temperatura. Así, para un aumento de 2 grados centígrados, el daño podría ser del 1 o del 3 por ciento de la renta, con igual probabilidad de uno u otro desenlace. Dicho escenario arrojaría un promedio de valor esperado del 2 por ciento. El valor esperado es la media aritmética. Por ejemplo, para una tirada de dados, el valor esperado es de 3,5. Esta incertidumbre puede estar presente en el estudio de cualquier umbral de temperatura máxima o en la estimación de los costes para todo tipo de escenarios. Un pequeño análisis nos enseña que sólo debemos considerar el daño y el coste medio para asegurar que la incertidumbre no empaña nuestra decisión.[177]

El segundo ejemplo se refiere a las incertidumbres acerca de los niveles a partir de los cuales ocurren los puntos de inflexión, lo que nos invita a actuar de manera muy diferente y adoptar una actitud mucho más adversa al riesgo. Hablaríamos, por tanto, del principio de «precaución». Este principio se utiliza en campos muy diferentes. En 1992, la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, emitida por las Naciones Unidas tras la cumbre celebrada en Río de Janeiro, establecía: «Cuando existen amenazas de daños graves o irreversibles, la falta de certeza científica total no se utilizará como razón para posponer medidas que ayuden a prevenir los daños sobre el medio ambiente y evitar su degradación».[178] En la misma línea, aunque con tintes más radicales, van aquellos que sugieren que, en ausencia de certeza científica, la sociedad debe adoptar políticas que impidan el peor resultado esperado (en teoría de juegos este enfoque se conoce como «estrategia *minimax*»).

Sin adoptar una doctrina particular, podemos usar nuestro enfoque de coste-beneficio para determinar cuál sería la política óptima a la hora de enfrentarnos con puntos de inflexión que nos son, en gran medida, desconocidos. Comencemos con una participación limitada y con la correspondiente tasa de descuento. A continuación, asumiremos que los científicos han descubierto un punto de inflexión brusco. Podría ser un

efecto invernadero fuera de control o una rápida desintegración de las capas de hielo gigantes. Si ignoramos la incertidumbre que supone todo esto, el análisis coste-beneficio se vería como en la figura 32.

Pero supongamos que un análisis más profundo revela incertidumbre sobre la temperatura en la que se desencadena el temido punto de inflexión. Quizá haya dos resultados igualmente probables: uno sugiere que el umbral son los 3 grados centígrados y otro apunta a los 4 grados centígrados. Por tanto, deberíamos dibujar dos curvas de daño diferentes, una que aumente bruscamente a partir de un calentamiento de 3 grados centígrados y otra que haga lo propio desde los 4 grados centígrados. Cada curva recibiría el mismo peso, puesto que partimos de que la probabilidad de uno u otro escenario es idéntica, y así obtendríamos una nueva curva de daño que integra ambas trayectorias y ofrece su media aritmética. El resultado es una curva de daño que tendrá forma de «W».

Si realizamos este ejercicio, encontramos que el umbral de temperatura más bajo termina dominando e impulsando los procesos de diseño de las políticas climáticas. Bajo este prisma, deberíamos perseguir políticas que persigan un nivel de calentamiento inferior al punto de inflexión. Si la linealidad se pierde a partir de los 3,5 grados centígrados, habrá que fijar como calentamiento máximo los 3 grados centígrados y así evitar sucesos inesperados que generen un daño significativo. Como los puntos de inflexión tienen resultados catastróficos, queremos evitarlos siempre que sea posible y tomamos medidas que nos alejen del punto de no retorno.

Si bien este ejemplo es compatible con la versión *minimax* del principio de precaución, se basa en suposiciones extremas. Utilizando el enfoque *minimax*, la estrategia asumiría que apenas hay un número limitado de puntos de inflexión en la función de daño y que no es tan costoso evitarlos todos. Sin embargo, en otras situaciones, o no iríamos a la solución *minimax* o partiríamos de que el coste de evitar los puntos de inflexión es tan alto que tenemos que elegir entre alternativas que, sin ser buenas, son menos malas.

Bajo estas condiciones alternativas, el principio de precaución no se mantendría. En cambio, nuestro análisis nos llevaría a la estimación de una prima de riesgo más completa, que buscaría evitar el punto de inflexión,

pero sin soportar todos los costes derivados de evitar los de calentamiento que desencadenan dichos fenómenos.

Por ejemplo, los científicos pueden pensar que existe una pequeña probabilidad de que la corriente del Golfo cambie de rumbo si las temperaturas aumentan más de 2 grados centígrados pero, al mismo tiempo, puede determinarse que los costes de detener dicha reversión son extremadamente altos, mientras que los daños derivados de dicha alteración no serían catastróficos. En este caso, podríamos agregar un paso adicional a la función de daño, pero esto no nos llevaría necesariamente a un límite de temperatura óptimo.[179]

En última instancia, aunque los daños que provocan los puntos de inflexión son inciertos y altamente no lineales, nuestro análisis de coste-beneficio tiene que buscar un objetivo óptimo y luego adoptar una cifra aún menor, para así estar cubiertos ante posibles desviaciones que desatarían un punto de inflexión.

Críticas al análisis coste-beneficio en el contexto climático

El análisis de coste-beneficio es criticado de forma recurrente por ciertas voces. Los escépticos con la ciencia climática argumentan que no es un mecanismo apropiado para sopesar las decisiones sobre el calentamiento. Algunos de los inconvenientes aportados son técnicos: de entrada, como hay mucha incertidumbre respecto al comportamiento futuro del clima, las probabilidades de que se den distintos supuestos son difíciles de determinar con claridad; además, los costes y beneficios pueden corresponder a diferentes personas o generaciones; por último, existen dificultades evidentes a la hora de comparar los costes actuales con los beneficios de un futuro lejano.

Sin embargo, el cambio climático también nos plantea importantes cuestiones filosóficas. Por ejemplo, al tomar decisiones sobre los impactos en la salud, ¿estamos justificados éticamente para poner un precio a la salud y la vida humana? Quizá la mayor dificultad radica en que los impactos del

cambio climático involucran sistemas naturales, como los ecosistemas y la biodiversidad, y nuestras herramientas actuales son inadecuadas para valorar estos cambios.

¿Cómo responden los economistas a estas preguntas? La mayoría estaría de acuerdo en que hacer un análisis sólido de coste-beneficio para la política de cambio climático es una tarea compleja. Sin embargo, es necesario seguir este camino si partimos de que queremos tomar decisiones razonadas acerca de las políticas que vamos a adoptar para lidiar con el calentamiento.

Es posible que no podamos realizar estimaciones definitivas sobre el impacto de unas temperaturas más altas pero, siguiendo un cuidadoso proceso de estudio y análisis, podemos obtener estimaciones de orden y de magnitud, incorporarlas en nuestros análisis... Y hay que tener cuidado a la hora de incluir todo tipo de impactos: hay impactos de mercado, impactos ajenos al mercado, impactos ambientales, impactos de ecosistemas... Además, en aquellas áreas donde las estimaciones son particularmente escasas, como la valoración de ecosistemas, los economistas y los científicos naturales necesitan cooperar para producir mejores estimaciones. Sin embargo, si debemos actuar responsablemente con el dinero de la gente y nos queremos abstener de realizar inversiones absurdas, entonces tenemos que comparar costes y beneficios.

Consideremos el siguiente experimento mental. Supongamos que tenemos un equipo de expertos de confianza a nuestro servicio. Supongamos que esos expertos nos ofrecen distintas estimaciones de costes para alcanzar diferentes objetivos climáticos. Supongamos ahora que las estimaciones se parecen a las de las figuras 29 a 32. ¿Qué objetivo escogeríamos?

Obviamente, necesitaríamos estudiar el análisis de impacto y pensar en los puntos de inflexión. Tal vez optaríamos por modificar las funciones de daños para agregar una prima de seguro que contemple daños adicionales sobre los ecosistemas y las especies, cuestiones que a menudo se omiten del análisis tradicional. También necesitaríamos hacer una estimación realista de la participación por países. Si realmente pensamos que sólo la mitad de los países participarán, entonces apuntar a 2 grados centígrados es absurdo.

Por otro lado, si creemos que todos los países se van a sumar de forma inmediata y entusiasta, o que la aplicación sería ciento por ciento eficiente, siempre podemos seguir los objetivos de Copenhague.

Pero, sobre la base de la evidencia presentada en este capítulo y los anteriores, ¿qué debemos concluir? ¿Cuál es nuestra postura ante el establecimiento de objetivos concretos para la política climática? Sin duda, es importante responder a estas preguntas de forma coherente. Muchos científicos están convencidos de que un objetivo de temperatura es el objetivo correcto. Si bien hay otras cuestiones encima de la mesa, limitar el calentamiento es, sin duda, un trabajo necesario para conseguir un cambio a mejor. Los límites de emisiones o los objetivos de concentración no son objetivos finales, pero sí medidas instrumentales de vital relevancia.

No obstante, si bien los objetivos de temperatura simples son atractivos, también es cierto que son insuficientes. ¿Acaso no hay nada más? ¿Se fijan de forma clara o siguiendo el capricho de ambientalistas que olvidan los costes de sus medidas de protección medioambiental? ¿Y qué hacen los gobiernos que impulsan estas medidas si otros países no se suman o si el dinero para estas políticas termina en manos de regímenes corruptos que no mueven un dedo para reducir las emisiones?

Si hay grandes sumas involucradas, es normal que queramos obtener el mayor valor posible con las inversiones que se financian a partir de nuestro dinero. Esto implica que las personas querrán comparar costes y beneficios. Los beneficios no tienen por qué estar completamente monetizados, pero incluso aunque lo estén, hay cosas que seguirán estando fuera: «Los ecosistemas no tienen precio», «Todo dinero es poco para salvar a los osos polares», etc. Por eso, los costes y beneficios tienen que formar parte de la ecuación climática. Dependiendo de cuan optimistas seamos sobre la participación de los distintos países del mundo, y partiendo de nuestra opinión subjetiva sobre la tasa de descuento, podemos ofrecer una respuesta empleando como referencia las figuras incluidas en este capítulo.

19

La importancia de ponerle un precio al carbono

El diseño de una política para el cambio climático implica acompasar la historia de dos ciencias. Por un lado tenemos las ciencias naturales, que han hecho un trabajo admirable al describir los aspectos geofísicos del cambio climático. Toda la investigación científica referida al calentamiento global está bien planteada y sigue avanzando. Si bien no se sabe con certeza el momento que desencadena los cambios, o no se conocen todos los efectos regionales de los mismos, los científicos naturales han demostrado de manera convincente que las emisiones de CO_2 sin control tienen consecuencias peligrosas.

Pero comprender la ciencia natural del cambio climático es sólo el primer paso a la hora de consolidar el diseño de una estrategia efectiva que nos permita controlarlo. Dicho esfuerzo requiere acudir también a las ciencias sociales, disciplinas que estudian cómo lograr que los sistemas económicos y políticos funcionen mejor. Sólo por esta vía se puede lograr que los objetivos climáticos sean diseñados e implementados de manera efectiva. Estas preguntas son distintas de las que abordan las ciencias naturales; implican no sólo el análisis del entorno económico, sino también el estudio de las herramientas de política pública que pueden ayudarnos a conseguir una disminución de las emisiones.

De estas preguntas versan los capítulos que siguen. En el presente capítulo se analiza el papel central que tiene la fijación de precios por la externalidad del CO_2 o, dicho de otro modo, el cálculo de los «precios del carbono». En el capítulo 20 se discute cómo los gobiernos están enfocando este reto, mientras que en el 21 se examina cómo se pueden implementar los objetivos de la política climática para que sean efectivos en una comunidad amplia de naciones. Por tanto, nos enfrentamos a los problemas

económicos de estimar el precio del carbono y a los problemas políticos ligados al diseño de instituciones acordes a un mundo con menos emisiones.

¿Cuáles son los precios del carbono?

Gracias a los capítulos anteriores, hemos llegado a la conclusión de que reducir las concentraciones de CO_2 y otros GEI es la única forma fiable de reducir la velocidad y la intensidad del calentamiento global. Hemos estudiado cuánto cuesta reducir las emisiones y por qué todos los países deben participar si queremos que estas políticas de ajuste tengan un coste asumible. También hemos planteado por qué es importante cambiar la generación de energía de carbón a gas natural y por qué merece la pena explorar fuentes que emitan menos CO_2 al desarrollar energía. Muchos expertos centrados en conseguir la desaceleración del cambio climático asumen buena parte de estas recetas.

Pero estamos dejando fuera las elecciones individuales. ¿Qué podemos hacer para que todos los ciudadanos emprendamos las acciones necesarias? ¿Cómo conseguimos que las familias se compren coches que consuman menos combustibles fósiles? ¿Cómo hacemos más popular el hecho de irse de vacaciones cerca de casa en lugar de volar más lejos para recorrer el mundo? ¿Qué incentivos llevarán a las empresas a rediseñar sus operaciones, de manera que sus emisiones de carbono vayan a menos pero sus accionistas sigan recibiendo los beneficios de su actividad? ¿Qué podemos hacer para convencer a científicos, ingenieros e inversores de que un área muy prometedora para centrar sus esfuerzos es la del desarrollo de procesos y productos con bajas emisiones de carbono?

Es probable que estas preguntas nos generen nuevas dudas que hasta ahora no nos habíamos planteado. Afortunadamente, hay una respuesta simple para todas ellas. La historia de las intervenciones económicas en el sector de la energía y en otros lugares muestra que el mejor enfoque posible es aquel que pasa por introducir políticas que incorporen los mecanismos

propios del mercado. Y el mecanismo de mercado más relevante de todos y que hoy en día sigue sin estar presente es el del precio de las emisiones de CO_2 o, dicho de otro modo, el «precio del carbono».

Al escuchar por primera vez la idea de ponerle un precio al carbono, muchas personas se sorprenderán y algunas pensarán que es una locura inviable. En realidad, la propuesta está basada en la teoría y en la historia económica. La idea principal es que las personas deben tener incentivos económicos para cambiar sus actividades y apostar por aquellas que acarreen menos emisiones de CO_2 y otros GEI. La mejor forma de lograr esto es poniendo un precio a las emisiones de CO_2. Esto, a su vez, aumentará los precios relativos de los bienes intensivos en carbono y disminuirá los precios relativos de los bienes que no emiten carbono a la atmósfera, lo que hará que disminuya la tendencia alcista de las emisiones de CO_2.

Empecemos con el análisis económico. Las emisiones de carbono surgen de actividades económicas que generan beneficios a quienes las desempeñan y cuentan con el respaldo activo de los consumidores, pero suponen un deterioro del medio ambiente cuyo coste no está reflejado en el precio de dichas actividades. Cuando encendemos el aire acondicionado pagamos por la electricidad consumida, pero no por el daño causado con las emisiones de CO_2. Por tanto, podemos decir que el precio de las emisiones de CO_2 en Estados Unidos y muchos otros países es «cero». Si revisamos la lista de actividades domésticas que producen carbono (tabla 6), podemos ver que ninguna de ellas incluye un precio de CO_2 que refleje los costes sociales derivados del calentamiento.

¿Cómo podemos solucionar esta carencia? Ésta es una de las pocas áreas donde la respuesta económica es simple. Los gobiernos deben garantizar que las personas pagan el coste total de las emisiones que provocan. Tenemos que asumir ese coste y tenemos que asumirlo todos, gobiernos, empresas y ciudadanos de todas partes. Las decisiones económicas tienen que moverse en un entorno de precios que refleje los costes sociales de las actividades por las que nos decantamos a diario.

Dicho de otra manera, poner un precio al carbono representa una decisión social sobre la prioridad de reducir las emisiones de CO_2. Emitir esta señal es similar a lo que sucede cuando el mercado exige un alto precio por el suelo de determinadas ciudades o regiones. Si una parcela en el centro de Manhattan se vende por un precio astronómico, ese precio alto indica que éste no es un lugar económico para desarrollar, por ejemplo, un campo de golf. Del mismo modo, ponerle precio a las emisiones de carbono proporciona al sector privado la señal de que las emisiones son perjudiciales y deben reducirse.

Pero, ¿cuál es el precio del carbono «en la práctica»? Podemos decir que la definición lo describe como el precio asociado a la quema de combustibles fósiles (y actividades similares). Así, cada vez que una empresa o una persona quema dichos combustibles y libera CO_2 que termina en la atmósfera, debemos asumir que aquellas personas que financian dichas actividades tienen que ver reflejado en el precio sufragado el coste derivado de la emisión de dióxido de carbono. En los ejemplos que siguen, tomo como referencia un precio de 25 dólares por tonelada de CO_2, para que los lectores puedan familiarizarse con un umbral determinado de coste. Más adelante planteo por qué estos 25 dólares por tonelada son un objetivo razonable para las políticas a corto plazo.

La generación de electricidad nos proporciona un ejemplo para comprender el papel que desempeñan los precios del carbono. Consideremos el caso de un hogar que consume 10.000 kilovatios por hora (kWh) cada año, a un precio de 10 céntimos por kWh o, lo que es lo mismo, 1.000 dólares por año. Si la mitad de la electricidad se genera a partir del carbón y la otra mitad a partir del gas natural, la generación ligada a ese hogar supondrá la emisión de 8 toneladas de emisiones de CO_2. Si el precio del carbono se fija en 25 dólares por tonelada de CO_2, entonces el coste anual de generación de la electricidad de dicho hogar aumentaría a 1.200 dólares, un repunte del 20 por ciento que supone 200 dólares más.

Determinando los precios

¿Cómo pueden determinar los gobiernos el precio de las emisiones de CO_2? Este asunto lo comentamos en más detalle en el capítulo 20, pero a manera de introducción es importante presentar las posibles fórmulas que permiten calibrar los precios integrales, que incluyan las emisiones. Grosso modo, los caminos que se pueden explorar son dos:

- La fórmula más sencilla implica gravar las emisiones de CO_2 con un impuesto al carbono. Esto requiere que tanto las empresas como las personas paguen una tasa sobre las emisiones ligadas a su actividad, en la misma línea de lo que sucede con la compra de gasolina o tabaco, que también llevan asociado un tributo especial.
- El segundo método consiste en que las compañías tengan un determinado permiso para emitir CO_2 y luego puedan comprar o vender los derechos que les sobren o les falten, dependiendo de su eficiencia. Esto se denomina *cap and trade* en inglés y puede traducirse como «mercado de derechos de emisiones». Dicho esquema establece límites generales que reducen las emisiones totales y permiten que las empresas compren o vendan su derecho a efectuar ciertas emisiones.

Puede que estos dos mecanismos se nos antojen diferentes, pero los dos buscan un mismo objetivo económico: aumentar el precio del carbono. En el capítulo 20 se estudian las similitudes y diferencias de uno u otro esquema, pero —y es fundamental—, más allá de lo que separa un método de otro, estas dos son las únicas vías que conocemos para permitir el establecimiento de un precio de mercado que recoja la externalidad negativa inherente a la producción económica que genera emisiones de CO_2 y otros GEI.

Un problema administrativo importante en el diseño de un sistema de precios del carbono es decidir quién soporta el coste de un gravamen específico o un mercado de derechos de emisiones. Sin duda, muchas personas pueden argumentar que desconocen el origen energético de los productos y servicios que consumen. Pero entonces, ¿cuál es el sujeto

económico que debe soportar el impuesto o que debe pagar en el mercado de derechos? ¿Sobre qué punto de la cadena productiva recae la obligación de soportar la externalidad negativa que necesitamos cuantificar?

Los expertos políticos señalan que la aceptación pública de una regulación o de un impuesto tiene mucho que ver con el sujeto sobre el que recae la medida. «El único impuesto bueno es un impuesto invisible», dicen algunos economistas. Quizá por eso, parte importante de las cotizaciones sociales se fijan como una tasa que soportan las empresas, de modo que los trabajadores no ven esa carga fiscal de manera evidente.

La mayoría de economistas especializados en el mercado de trabajo defiende firmemente que, sea quien sea quien paga «nominalmente» dichas cotizaciones, su coste recae sobre los salarios, puesto que la parte derivada al trabajador los disminuye directamente y la parte derivada a la empresa repercute en los sueldos, hacia los que se desplaza la carga en forma de pagas más bajas.

Siendo conscientes de los indicios que nos ofrece el estudio del comportamiento y la percepción humana ante los asuntos regulatorios y fiscales, parece recomendable que las medidas orientadas a reducir las emisiones de CO_2 y otros GEI se impongan de manera menos visible para los consumidores. Esto hace que la oposición a las mismas sea más baja y, por tanto, la viabilidad política sea mayor.

Sin embargo, desde un punto de vista económico, no hay ninguna diferencia. Da igual que pague el impuesto el gestor de la plataforma petrolera, el refinador de crudo, la gasolinera que lo distribuye... Al final, el precio del carbono tiene que verse reflejado en el coste final que soporta el trabajador, para evitar la acumulación irresponsable de emisiones generadoras de calentamiento y cambio climático.

Incentivos económicos para lidiar exitosamente con las emisiones

Poner un precio al uso del carbono tiene el propósito principal de crear fuertes incentivos a favor de las actividades que logran reducir su huella de carbono. Esto se logra cuando conseguimos que los precios que pagan

consumidores, productores e innovadores recojan la externalidad negativa que entrañan las emisiones de CO_2 y otros GEI.

En primer lugar, el precio del carbono debe servir como una señal que empuja al alza los precios de las actividades emisoras de CO_2. La idea es que un mayor precio redundará en un uso más puntual y moderado de dichos bienes y servicios. Por ejemplo, si súbitamente se refleja en el precio de los billetes de avión todo el daño medioambiental provocado por su combustible, los viajeros se lo pensarán dos veces antes de volar y considerarán un turismo de menor impacto (desplazamientos locales, viajes en tren, etc.). La consecuencia es que el turismo aéreo bajará y sus emisiones seguirán la misma trayectoria.

En segundo lugar, el precio del carbono proporciona señales a los productores que permiten determinar qué *inputs* emplean más carbono y cuáles lo emplean en menor medida. Por lo tanto, hay que animar a las empresas a trabajar con tecnologías bajas en carbono. Los precios funcionarían en este caso como fórmula para reducir los costes de las empresas que sigan prácticas más sostenibles y hacer lo contrario para las compañías que tomen el camino opuesto.

Una de las señales más importantes que debe apuntar un esquema de precios de carbono es la del precio de la generación de energía eléctrica. Los costes de operar con carbón deberán subir considerablemente, los del gas natural se encarecerán menos y tanto la nuclear como las renovables se quedarán en los niveles actuales. De todos estos ajustes, reducir las emisiones de CO_2 es, probablemente, el paso más importante que se puede dar, como ponen de manifiesto los números para Estados Unidos.

El precio más alto asignado a las actividades que generen más emisiones llamará la atención de las empresas generadoras de electricidad. Muchas empresas incorporan ya la posibilidad de recoger en sus planes de precios el impacto de CO_2 de cada fuente energética, estimado a menudo en 25 dólares por tonelada de dióxido de carbono.[180]

Los precios del carbono darán incentivos al mercado para que los inventores e innovadores desarrollen e introduzcan productos y procesos con bajo contenido de carbono. Esto es crucial para renovar o reemplazar las tecnologías actuales. Supongamos por un momento que somos los

directores de investigación y desarrollo (I+D) de una empresa grande como General Electric. En el caso de dicha firma, el departamento en cuestión maneja 5.000 millones de dólares anuales. Supongamos que, a través de General Electric, generamos electricidad a partir de distintas plantas cuyas fuentes son diversas. Sin ponerle un precio a las emisiones de CO_2, nuestras plantas de carbón seguirán siendo rentables y nuestro gasto en I+D se irá a optimizar sus procesos. Sin embargo, si los precios empiezan a reflejar el coste de las emisiones de CO_2, entonces este tipo de generación irá dejando paso a fuentes que asumirán un rol protagónico: eólica, nuclear, etc. La I+D se centrará ahora en dichos campos.

En aquellas áreas en que la demanda de los consumidores o productores es muy sensible al precio del carbono (viajes aéreos, electrodomésticos o automóviles), las empresas con grandes presupuestos de I+D serán sensibles a las señales aportadas por los precios del carbono y redirigirán sus inversiones de forma consecuente. En el capítulo 23 se plantea con mayor detalle la economía de la innovación en relación con el cambio climático.

Precios del carbono y ética ambiental

Muchos observadores se preguntan por qué los economistas recomiendan un enfoque aparentemente complejo como la fijación de precios del carbono. ¿Por qué no basta con indicar a consumidores o productores que deben limitar su consumo? ¿No es suficiente con eso?

En realidad, la fijación de precios del carbono es un ejemplo de simplicidad y comodidad. Las decisiones sobre la reducción de emisiones son complejas, diversas y comprometedoras. Uno de los aspectos más inteligentes derivados de fijar precios del carbono es que simplifica las decisiones de forma notable, reduciendo la cantidad de información necesaria y aportando señales claras que modifican nuestra conducta en la dirección de una economía más sostenible.

Supongamos que nos tomamos en serio la ética ambiental. Nuestra meta es reducir la huella de carbono que generamos, es decir, aminorar la cantidad de emisiones de carbono derivadas de las actividades en las que participamos como consumidores o productores. ¿Cómo podemos adaptar nuestra vida diaria para tomar decisiones que nos permitan reducir el carbono?

Para responder a esta pregunta, pongámonos en un supuesto. Imagine que usted y su hermano viven en Denver, Colorado, y que ambos quieren visitar a su padre, residente en Alburquerque, Nuevo México. ¿Deben conducir o volar para desplazarse de una a otra ciudad estadounidense? Cualquier calculadora de carbono, disponible online, nos dirá que el avión produce 350 kilos de CO_2 frente a los 400 de nuestro coche Toyota. De manera que volar es, aparentemente, más eficiente. Sin embargo, si tenemos que ir y volver del aeropuerto, tendremos que agregar las emisiones generadas por esos trayectos. Además, este tipo de calculadora no tiene en cuenta si el vuelo está lleno o no. Peor aún: tampoco incorpora un análisis del CO_2 liberado en la producción de los neumáticos, aluminio, acero, cojines y demás materiales que hacen posible el transporte aéreo. Y tampoco olvidemos los costes de carbono que generan los desplazamientos por tierra de otros pasajeros, de la tripulación, etc.

Teniendo en cuenta todo esto, quizá deberíamos pensar en ahorrarnos el viaje y descolgar el teléfono. Ahorraríamos carbono... Pero seguro que nuestro padre prefiere vernos en persona.[181] Ante este dilema, el precio del carbono ayuda a clarificar la toma de decisiones. Si se cobra un mismo precio por todas las emisiones de carbono, los costes se incluirían directamente en los precios que pagamos: para el primer supuesto, estarían presentes en el coste de llenar el depósito de gasolina; para el segundo, quedarían recogidos en el billete de avión y en las tarifas del bus o del taxi que nos lleva al aeropuerto...

Una vez que el precio del carbono se aplica universalmente, el coste de mercado de todas las actividades que generan emisiones sube de forma automática. Como consumidores, no tendríamos que calcular qué porcentaje del precio se debe al contenido de carbono: simplemente compararíamos costes y tomaríamos una decisión.

Esto nos ayuda a entender por qué los economistas enfatizan las ventajas de usar los precios del carbono como palanca para reducir las emisiones generadoras de calentamiento atmosférico. Los precios proporcionan incentivos que ayudan a reducir las emisiones de manera imparcial, cubriendo todos los ámbitos productivos de la economía y simplificando la información necesaria para que las personas tomen decisiones.

Establecer correctamente el precio del carbono

La economía nos enseña que los mercados no regulados no pueden fijar el precio adecuado de externalidades como el CO_2, porque su daño es externo a los propios procesos del mercado. Entonces, ¿cómo se debe determinar su precio? Los economistas se debaten entre dos grandes enfoques para estimar el precio adecuado del carbono. El primero pasa por estimar los daños causados por el cambio climático con un concepto llamado «coste social del carbono». El segundo implica calcular qué precio del carbono logra objetivos ambientales concretos, determinados a partir de modelos de evaluación integrados.

Comencemos con el coste social del carbono. Este concepto representa el daño económico causado por una tonelada adicional de emisiones de CO_2, o un GEI equivalente.[182] Las estimaciones del coste social del carbono son un ingrediente crítico para la acción contra el cambio climático, puesto que proporcionan a los formuladores de políticas públicas un objetivo que ayuda a establecer un impuesto sobre el carbono o que contribuye a establecer el nivel de reducción de emisiones imperante en un mercado de derechos de emisiones. También es un parámetro empleado en negociaciones internacionales sobre precios mínimos del carbono.

Otra aplicación crucial de este mecanismo es su uso para la elaboración de reglas cuando los países no tienen políticas integrales que cubran todos los gases de efecto invernadero. En este contexto, los reguladores pueden utilizar el coste social del carbono en un cálculo referido a los costes y beneficios sociales de las políticas climáticas. Por ejemplo, el gobierno de

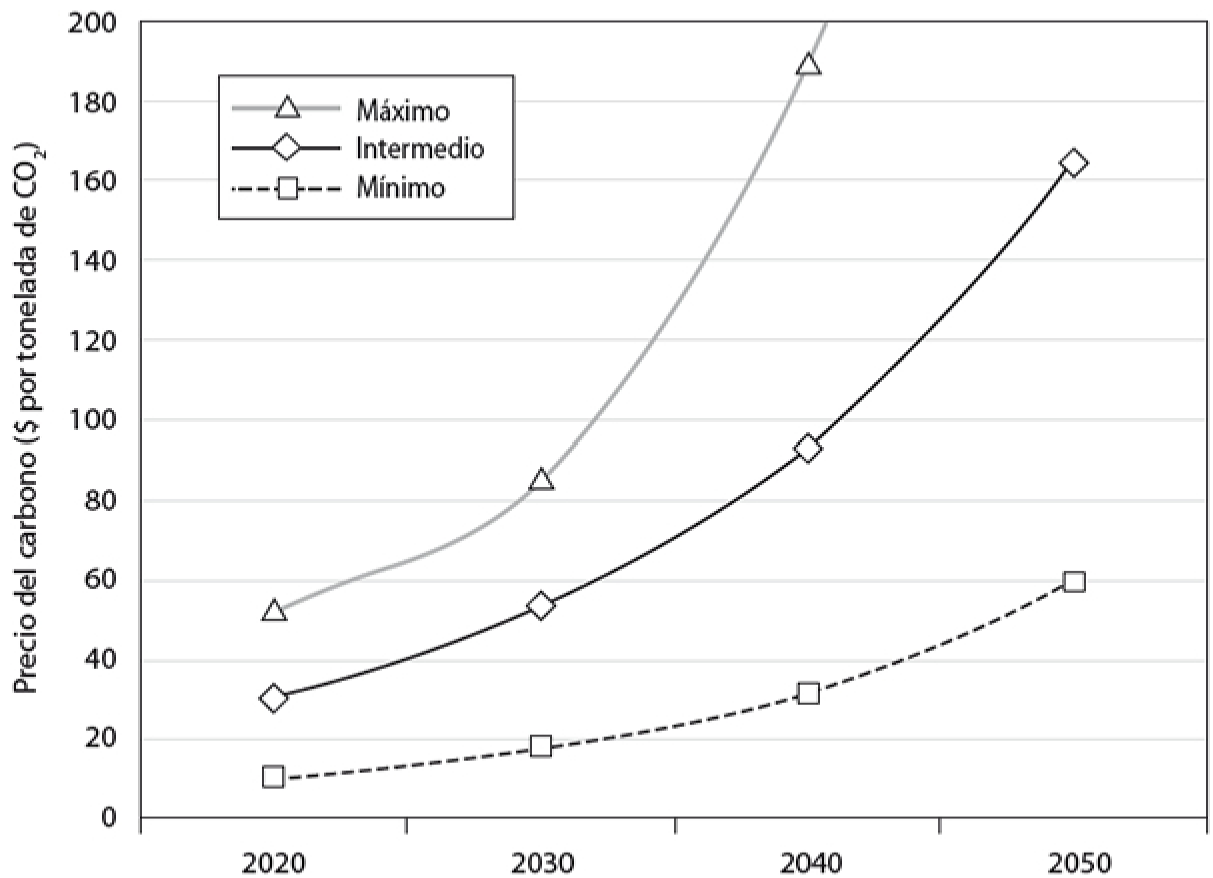
Estados Unidos ha utilizado el coste social del carbono para establecer regulaciones o subsidios destinados a la instalación de fuentes de energía con bajas emisiones de carbono. El Ejecutivo norteamericano también ha recurrido al coste social del carbono para canalizar ayudas o medidas referidas a eficiencia energética en edificios, la medición de la eficiencia de determinados combustibles, la calificación medioambiental de los vehículos motorizados o los estándares de emisiones de las nuevas centrales eléctricas.

Actualmente existen muchas estimaciones del coste social del carbono. Un informe del gobierno de Estados Unidos llega a la ya mencionada cifra de 25 dólares por tonelada de CO_2, con cifras para 2015.[183] Esto es consistente con los números que arrojan los modelos, de manera que parece razonable emplear los 25 dólares como un precio objetivo.

El segundo enfoque utilizado para determinar el precio adecuado del carbono pasa por emplear modelos de evaluación integrados. Por ejemplo, podríamos estimar qué trayectoria de los precios del CO_2 es necesaria para alcanzar un determinado objetivo de temperatura. La figura 33 muestra un ejemplo, con un límite de temperatura de 2,5 grados centígrados, coherente con los argumentos ofrecidos en el capítulo 18, en el marco de la discusión de la limitación de emisiones a partir de un análisis de coste-beneficio.[184]

La figura 33 muestra la trayectoria de los precios del carbono durante el próximo medio siglo, en la situación óptima (y utópica) de la participación universal y la ejecución de medidas ciento por ciento eficientes.[185] El coste empieza en 25 dólares por tonelada y aumenta con el tiempo, a una tasa del 5 por ciento anual, hasta llegar a 53 dólares por tonelada en 2030 y 93 dólares por tonelada en 2040. Se necesita un fuerte aumento de precios para ahuyentar el rápido crecimiento proyectado en las emisiones de CO_2 que arrojan todos los modelos, principalmente debido a la acumulación del efecto del crecimiento económico en todo el mundo.

FIGURA 33 **Precios del carbono necesarios para limitar a 2,5 grados centígrados el aumento de la temperatura**



Nota: Esta figura muestra la senda del precio objetivo, con distintos escenarios que recogen los precios mínimos, medios y máximos que plantean los modelos empleados. El gráfico parte de una participación universal y de una aplicación plenamente eficiente de las medidas de reducción.

En la figura 33 también se muestra el rango de estimaciones de diferentes modelos. La incertidumbre inherente a las estimaciones viene expresada por los distintos precios máximos y mínimos que pueden llegar a plantearse para una misma recomendación de temperatura máxima (2,5 grados centígrados de calentamiento). Esas dudas reflejan las incertidumbres intrínsecas sobre el crecimiento económico futuro, las tecnologías energéticas y los propios modelos climáticos.

Impacto de los precios del carbono en los precios de la energía

Para comprender cómo un impuesto al carbono afectaría a nuestra vida diaria, la tabla 8 muestra el impacto de un precio de 25 dólares por tonelada de carbono en productos energéticos representativos, consumidos a nivel

mayorista.[186] Los aumentos están determinados por el contenido de CO_2 por cada dólar de coste. El carbón es el más afectado, mientras que el petróleo muestra el menor impacto, porque tiene un alto valor por cada unidad de emisiones de CO_2.

¿Y cuál sería el impacto de los precios del carbono en los gastos de una familia estadounidense media? La tabla 9 muestra algunos ejemplos, también para un precio del carbono de 25 dólares por tonelada.[187] Los precios de los bienes intensivos en carbono aumentan bruscamente, mientras que los de los productos más ligeros aumentan mucho menos. El mayor aumento se produciría en los precios de la electricidad, ya que la generación de electricidad en Estados Unidos proviene principalmente del carbón, que consume CO_2 de forma intensa.

TABLA 8 **Impacto en los precios de venta mayorista de la energía después de aplicar un impuesto al carbono de 25 dólares por tonelada de CO_2**

Fuente de energía	Unidad	Sin impuesto al carbono	Con impuesto al carbono	Cambio (%)
Precios ($ 2005)				
Petróleo	$ por millón BTU	17,2	19,1	+11
Carbón	$ por millón BTU	1,8	4,1	+134
Gas natural	$ por millón BTU	4,5	5,8	+30
Electricidad (industrial)	Céntimos $ por kWh	6,9	9,0	+31

Nota: La tabla muestra el impacto en los precios del gravamen, que encarece notablemente el precio de la energía generada por el carbón pero no supone grandes cambios para el petróleo, cuyo valor por unidad de emisiones es elevado.

Para este supuesto, el gasto anual en combustible aumenta un 8 por ciento, mientras que los vuelos en avión se encarecen un 6 por ciento. Los precios de los servicios telefónicos o bancarios no subirían en absoluto, porque apenas generan emisiones de CO_2. El coste de todo el consumo para el hogar de una familia media de Estados Unidos tampoco se resentiría: dichos gastos apenas se encarecerían un 0,92 por ciento.

La tabla 9 muestra una de las formas importantes mediante las que ponerle un precio a las emisiones puede reducir el calentamiento global. Los precios de los bienes intensivos en carbono suben en relación con los precios de los productos que acarrean menores emisiones de carbono. Esto provocará respuestas de comportamiento, de manera que los consumidores apostarán más por bienes y servicios de menor huella medioambiental. Cuanto mayor sea el precio del carbono, más se reducirán las emisiones de CO_2. Esta «ley de la demanda con pendiente descendente», que significa que la cantidad demandada disminuye a medida que aumenta el precio, es uno de los hallazgos de la economía que han sido universalmente aceptados.

TABLA 9 **Impacto para un hogar común de fijar un impuesto al carbono que incorpore un precio del carbono de 25 dólares por tonelada de CO_2**

Ejemplo	**Toneladas de CO_2**	**Aumento de coste con el impuesto al carbono ($)**	**Aumento del gasto (%)**
Consumo eléctrico anual	9,34	233,40	+19,45
Gasto anual en carburante para el automóvil	4,68	116,90	+7,79
Vuelo internacional en clase turista	0,67	16,80	+5,61
Servicios de comunicación	0,01	0,36	+0,04
Servicios financieros	0,02	0,41	+0,04
Consumo anual en compra de otros bienes y servicios	29,48	737,00	+0,92

Impuesto al carbono y panorama fiscal

La tabla 10 muestra los datos agregados para el conjunto de la economía de Estados Unidos en función de los precios recogidos en la figura 33. Para estos cálculos, se asume que los precios del CO_2 aumentan a través de los impuestos al carbono (o mediante un mercado de derechos de emisiones).

El impuesto al carbono analizado en este supuesto comienza en 25 dólares por tonelada, aunque se va encareciendo. En 2030 este gravamen habría logrado estabilizar las emisiones de Estados Unidos en niveles de 2000. Los modelos indican que esta trayectoria de los precios del carbono limitaría el aumento de la temperatura global a 2,5 grados centígrados, asumiendo que el impuesto se introduce en todos los países del mundo.

En general, pensamos que la política energética y climática está aislada de la política económica general, pero existe una importante interacción entre el marco fiscal general y estas propuestas. La mayoría de los países importantes enfrentan el reto de reducir las deudas del Tesoro público y ven en el impuesto al carbono una fórmula de mejorar el desempeño medioambiental al tiempo que se reduce el pasivo estatal.

Analicemos este supuesto para el caso de Estados Unidos. La Oficina de Presupuestos del Congreso estimó en 2012 que la relación entre deuda federal y PIB aumentaría del 36 por ciento registrado en 2007 al 76 por ciento en 2013.[188] Esta ratio está subiendo rápidamente, como resultado del colapso de los ingresos fiscales motivado por la Gran Recesión y por los programas de estímulo económico, que aumentaron los desembolsos del Estado. La perspectiva a largo plazo arroja una deuda en rápido proceso de aumento, salvo en el caso de que se tomen ajustes fiscales de calado.

Un impuesto al carbono es lo más cercano a un impuesto ideal que puede imaginarse. Es el único impuesto bajo consideración que aumenta la eficiencia económica, porque reduce la producción de una actividad indeseable como es la emisión de CO_2. Además, acelera el cumplimiento de objetivos climáticos pactados a nivel nacional e internacional. No sólo eso, también tiene beneficios para la salud pública, porque reduce emisiones contaminantes o dañinas, especialmente aquellas asociadas con la quema de carbón. Además, el impuesto al carbono sustituye o reemplaza iniciativas regulatorias ineficientes y, por tanto, proporciona mejoras adicionales que conducen a la eficiencia económica.

Como muestra la tabla 10, el impuesto al carbono recomendado para Estados Unidos generaría 168.000 millones de dólares en ingresos apenas diez años después de su introducción, lo que equivale al 1 por ciento del

PIB. Debido a que la tasa impositiva aumentaría considerablemente, los ingresos también subirían sustancialmente con el tiempo.

Implementar un impuesto al carbono puede ser un compromiso difícil para los conservadores que defienden impuestos bajos o para los activistas ambientales que no muestran preocupación por la deuda y el déficit. Su aplicación es amigable con el funcionamiento del mercado y consigue desacelerar el calentamiento global al tiempo que el cuadro fiscal mejora notablemente.

TABLA 10 **Impacto económico de un impuesto al carbono en Estados Unidos, 2010-2030**

Año	**Tipo del impuesto($ 2005 / tonelada CO_2)**	**Emisiones (miles de millones de toneladas de CO_2) de $ 2005)**	**Ingresos fiscales (miles de millones de $ 2005)**	**Ingresos fiscales (% PIB)**
2010	0	6,3	0	0,00
2015	25	5,9	147	0,96
2020	30	5,5	168	0,97
2025	42	5,4	225	1,14
2030	53	5,2	277	1,25

20

Dimensión nacional de las políticas contra el cambio climático

La economía nos deja dos lecciones capitales para el diseño de políticas contra el calentamiento global. En primer lugar, como estipula el capítulo 19, es importante tener claro que las personas y las empresas tienen que tener incentivos económicos que inclinen su comportamiento hacia actividades que supongan menos emisiones de carbono. Las actividades que conducen a emisiones de CO_2 y otros GEI deben ser más caras, lo que requiere elevar los precios de los combustibles basados en carbono. Ésta es una verdad económica algo incómoda, porque todos nos resistimos a pagar más por la energía. En segundo lugar, tenemos que ser conscientes de que los mercados no resolverán este problema por sí solos. No hay una respuesta puramente de mercado capaz de solventar el calentamiento global. Por tanto, necesitamos nuevas instituciones nacionales e internacionales que ayuden a coordinar y guiar las decisiones de las autoridades públicas en todo lo relativo a las políticas de lucha contra el calentamiento global. De esta segunda lección versan este capítulo y el siguiente.

Los dos mecanismos para el precio del carbono

Como ya hemos establecido, los gobiernos pueden limitar las emisiones y aumentar el precio del CO_2 y otros GEI a través de dos mecanismos: mercados de derechos de emisiones e impuestos al carbono. En este capítulo exploramos en mayor profundidad estos dos sistemas y sus principales méritos.

El primer enfoque eleva el precio de las emisiones de CO_2 al imponer un tope a las mismas. Las empresas pueden comprar o vender sus derechos de emisiones, de manera que las compañías más eficientes, con excedente de carbono, salen ganando, puesto que pueden ponerlo a la venta.

Lo primero que debe hacerse para implementar un mercado de derechos de emisiones es determinar cuál es el límite de las emisiones de CO_2 y otros GEI. Esta decisión, que se toma a nivel nacional, se sucede después por la asignación de topes. No hablamos de normas extravagantes, sino de regulaciones que ya están siendo aplicadas en distintos países para conseguir que, en su conjunto, las emisiones sean menores. En la figura 34 vemos un ejemplo imaginario del certificado que permite un determinado nivel de emisiones.

El planteamiento hipotético de la figura 34 nos permite entender mejor todo lo que implican estos permisos. Hoy en día, los certificados son más complejos, se emiten de forma electrónica y desglosan requisitos reglamentarios complejos, pero la figura 34 nos da la idea básica que permite entender mejor que los permisos de emisión no son más que derechos de propiedad que se pueden comprar y vender, de la misma forma que compramos y vendemos automóviles o casas.

Pero la cuestión más brillante de los mercados de derechos de emisiones llega después. Se trata del comercio de esos derechos, lo cual es una innovación muy sugerente desarrollada por economistas especializados en asuntos medioambientales. Bajo este esquema, aparte de tener permisos de emisión, las empresas tienen la opción de comprar y vender esos permisos. Por ejemplo, pensemos en una empresa A que posee 1.000 toneladas de permisos y decide cerrar una de sus plantas de energía obsoleta. A continuación, pensemos ahora en una empresa B que desea abrir un gran centro tecnológico en el que se alojarán servidores y ordenadores. El consumo eléctrico de dicha instalación será elevado y emitirá 1.000 toneladas de CO_2. Bajo este esquema, la empresa A puede venderle a la empresa B sus valiosas concesiones.

FIGURA 34 **Certificado imaginario de emisiones**

CERTIFICADO 1031144AH23
PERMISO DE EMISIONES PARA LOS ESTADOS UNIDOS DEL PACÍFICO

Tope equivalente a 1.000 toneladas de dióxido de carbono

Este certificado establece que su propietario puede emitir la cantidad designada de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Las normas que rigen la medición de estas emisiones siguen el reglamento USP-120.12.12, incluido en el Registro de USP del 18 de agosto de 2013. El uso y la transferencia de los derechos de emisión se rigen asimismo por las normas vigentes.

El propietario registrado de este título de emisiones es Hypo Utility Co., empresa registrada en el estado de Marilandia. Estas asignaciones son transferibles dentro del territorio de los Estados Unidos del Pacífico, siempre que se canalicen a través del Sistema de Gestión de Autorizaciones, dependiente de la Agencia de Protección Ambiental.

Las emisiones permitidas para este certificado estarán disponibles desde el 15 de enero de 2015 y podrán usarse hasta el 31 de diciembre de 2019.

Firmado: E. N. Viron

Fecha: 20 de enero de 2014

¿Cómo establecerían el precio de las emisiones? Hay distintas formas de plantearlo. Por ejemplo, esas 1.000 toneladas se pueden someter a subasta, para que la empresa A encuentre a quien está dispuesto a pagar un precio más elevado. Imaginaremos que el coste resultante asciende a 25 dólares por tonelada.

La ventaja de establecer un mercado de derechos de emisión es que de esta forma se permite que las emisiones se empleen de la forma más productiva. En nuestro ejemplo, la empresa A podría haber seguido operando su planta obsoleta, pero el valor creado por esa vieja operativa sólo mejoraría en 2 dólares. Sin embargo, el valor neto del nuevo proyecto de la empresa B es de 202 dólares. Con este intercambio, el bienestar económico total mejora en 200 dólares por tonelada.

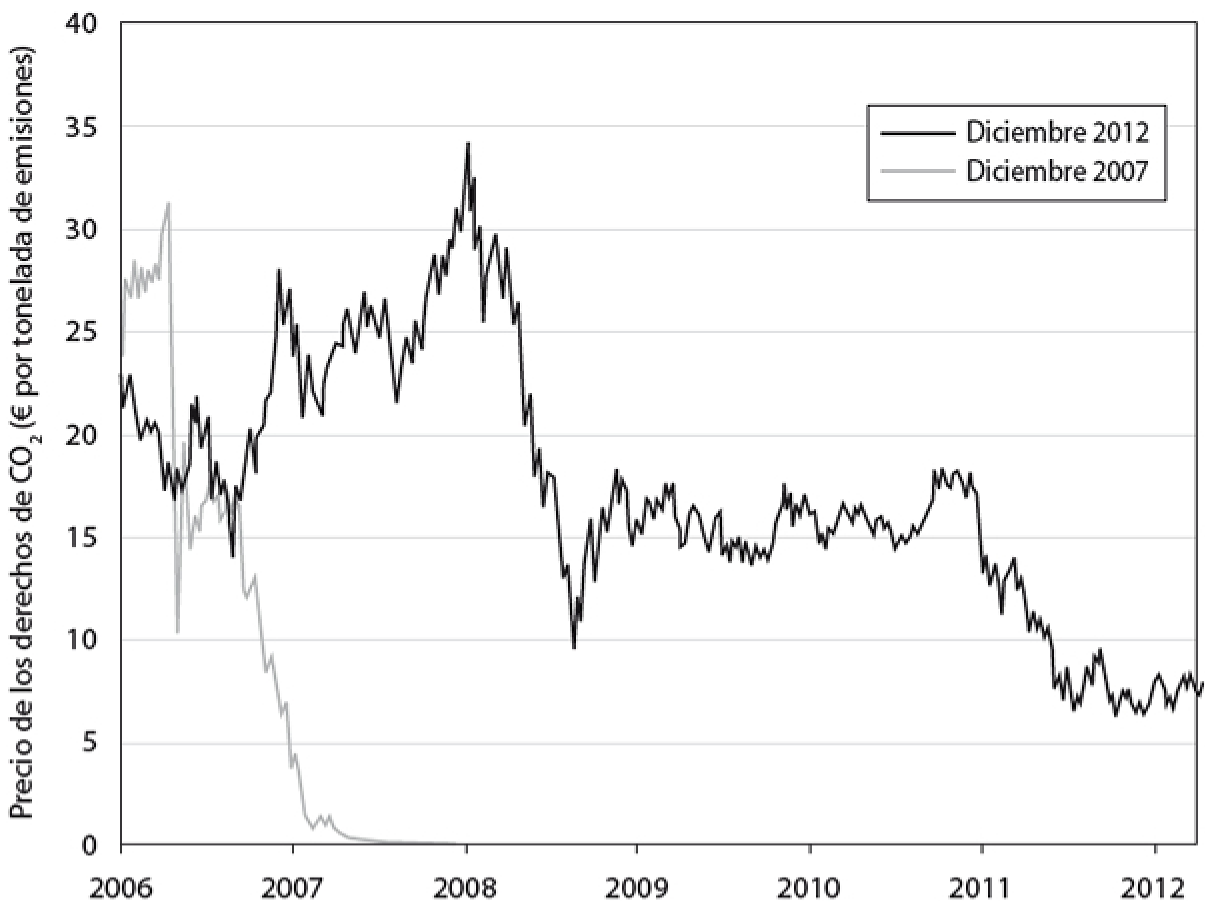
Estas ideas no se han quedado en el papel, sino que han pasado a la práctica y han sido empleadas en una amplia variedad de contextos en el último medio siglo. El mercado de derechos opera, por ejemplo, en la perforación petrolífera, la gestión de bosques, el manejo del espectro electromagnético... En el campo medioambiental, el ejemplo más exitoso es el uso de esquemas de este corte para limitar las emisiones de dióxido de azufre (SO_2), algo que empezó a aplicarse en 1990. Esta iniciativa demostró ser muy exitosa en la reducción de emisiones y tuvo un coste mucho menor del pronosticado. De hecho, la iniciativa del SO_2, originalmente un plan estadounidense, terminó siendo incorporada al plan de emisiones de GEI del Protocolo de Kioto y pasó después a formar parte del Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea.

En el contexto de las emisiones de CO_2, el plan del mercado de derechos de emisiones sirve para reducir la contaminación con mecanismos de precios y mercados, no a través de esquemas de intervencionismo estatal. Con la imposición de una reducción generalizada en el total de emisiones permitidas, su monto queda por debajo del que se daría en un contexto no regulado. El precio de mercado de los permisos de CO_2 termina subiendo lo suficiente como para reducir las emisiones al límite cuantitativo.

Al igual que un alto precio del maíz exprime la demanda del mismo para que se ajuste a la oferta disponible, un mayor precio del carbono induce a los productores y consumidores a reducir el uso de productos que emiten carbono e incentiva que se ajusten a la cantidad limitada permitida. Un régimen vinculante de límites máximos y de comercio de los derechos de emisiones llevaría indirectamente a un precio positivo, en lugar de cero, para el carbono.

La idea de aplicar al CO_2 este tipo de modelo de gestión fue incorporada por la Unión Europea en su esquema referido al comercio de emisiones. La figura 35 recoge el precio de las emisiones de CO_2 para el período 2006-2012.[189] El número de derechos de emisión de la primera fase fue mayor que las emisiones reales y el precio cayó a cero en 2007. En la segunda fase los precios comenzaron cerca de los 20 euros (27 dólares) por tonelada, pero cayeron en 2012 hasta los 8 euros (11 dólares) por tonelada.

FIGURA 35 **Precio de mercado de las emisiones de CO_2 en el marco del Esquema de Comercio de la Unión Europea**



Nota: Esta figura muestra la historia de los precios del CO_2 dentro de este mecanismo, para el período que va de 2006 a 2012. El precio disminuyó drásticamente durante la crisis financiera y también a fines de 2012, cuando el futuro de los acuerdos globales sobre el cambio climático estaba en duda. El euro promedió 1,36 dólares en los años estudiados.

El segundo enfoque para aumentar el precio del carbono pasa por gravar las emisiones de CO_2 con un tributo especial. La idea básica es simple. Cuando una empresa quema combustibles fósiles, la combustión produce una cierta cantidad de CO_2 que entra en la atmósfera. El impuesto se aplicaría sobre el contenido de CO_2 de cada combustible. Los problemas de definición son los mismos para los impuestos al carbono y los límites de emisiones incluidos en el mercado de derechos. La única diferencia es que uno grava una cantidad, mientras que el otro limita dicha cantidad.[190]

Tomemos un ejemplo. Supongamos que una empresa genera electricidad utilizando carbón. Una planta grande podría quemar alrededor de 5 millones de toneladas de carbón cada año. Con un impuesto de 25 dólares por tonelada de CO_2, la planta pagaría casi 400 millones de dólares al año en impuestos al carbono. Éste sería el componente más importante de los costes y, sin duda, motivaría una reacción por parte del equipo gestor.

Hay una idea similar, denominada «impuesto universal al carbono», que se aplicaría a todas las fuentes de CO_2 (lo mismo a otros GEI), cubriendo así el carbón o el petróleo, pero también golpeando otras áreas generadoras de emisiones, como la producción de cemento o las actividades de deforestación.

Los impuestos al carbono forman parte de la discusión sobre política climática desde un primer momento. En los años noventa, su aceptación fue a menos, puesto que los negociadores de los acuerdos internacionales creían que las restricciones cuantitativas eran más recomendables, ya que eran más susceptibles de ser aceptadas por los gobiernos de cada país. Desde 1997, la fijación de topes y el desarrollo de mercados de derechos de emisiones han ganado terreno, reduciendo la popularidad de la aplicación de un impuesto al carbono como herramienta central para la facilitación de una transición hacia una economía más sostenible.

Sin embargo, los impuestos al carbono han sido introducidos por algunos países, principalmente por motivos recaudatorios. En algunos países de Europa occidental se aplican impuestos al carbono o impuestos a la energía que diferencian según la fuente empleada para su producción. En India se aplica un impuesto de 1 dólar por cada tonelada de carbono producida por carbón en la industria nacional. China ha puesto encima de la mesa la posibilidad de introducir gravámenes de este tipo. También en la Unión Europea, en Canadá, en Australia o en Nueva Zelanda se baraja la posibilidad de atajar el calentamiento mediante un gravamen de este tipo.

Dos fórmulas equivalentes

¿Hay diferencias efectivas entre los dos regímenes estudiados? La mayoría de las personas se sorprenderán al conocer que, en esencia, estos modelos tienen una aplicación equivalente, de modo que el mercado de derechos de emisiones y el impuesto al carbono son básicamente iguales. Esto es así porque, si se aplican de forma fiel a la teoría, tienen los mismos efectos en las reducciones de emisiones, en los precios del carbono, en los consumidores y en la eficiencia económica. Políticos y analistas pueden discutir enérgicamente sobre cuál es mejor, pero el efecto es el mismo: reducción de emisiones mediante la creación de incentivos que animan a la descarbonización a través de la introducción de un mayor precio para el carbono.

La similitud se puede entender mejor con el siguiente ejemplo. Supongamos que las emisiones no controladas para Estados Unidos son de 5.000 millones de toneladas de CO_2 por año. En consecuencia, Estados Unidos aprueba un mercado de derechos de emisiones que, con los topes incluidos en su diseño, reduce el total de emisiones permitidas a 4.000 millones de toneladas. Dichos derechos se subastarán, enriqueciendo a quienes emplean tecnologías bajas en carbono y pueden vender sus cuotas. Por esa vía se puede llegar al equilibrio en el precio, que como indicábamos antes puede estar en torno a 25 dólares por tonelada de CO_2.

Ahora supongamos que Estados Unidos fija un impuesto a las emisiones de CO_2 que estipula una carga de 25 dólares por tonelada de CO_2. Con esta tasa impositiva, a las empresas les resultaría económico reducir las emisiones en 1.000 millones de toneladas. Desde el punto de vista de cada empresa, el precio de agregar una tonelada de CO_2 a la atmósfera termina siendo el mismo (25 dólares por tonelada de CO_2). Por tanto, las empresas reaccionan de manera idéntica en ambas situaciones. La diferencia es que en un caso «compran un permiso» y en otro «pagan un impuesto», pero el desembolso es igual. Da igual que empleemos una regulación de cantidades basada en el mercado o que utilicemos una regulación de precio en forma de impuesto. La consecuencia última es que las empresas pagan 100.000 millones de dólares (4.000 millones de toneladas permitidas × 25 dólares por tonelada) a cambio de poder alcanzar dicho nivel de emisiones de CO_2.

Diferencias importantes

Hasta ahora la teoría, pero ¿y la práctica? A medida que pasamos de un análisis utópico a un análisis de la realidad económica y empresarial, las diferencias entre un esquema y otro empiezan a ser más evidentes. Por lo general, los economistas se inclinan hacia la idea del impuesto, pero los negociadores y especialistas en asuntos climáticos prefieren el mercado de derechos de emisiones. Los siguientes párrafos explican el porqué de esa discrepancia.[191]

Los defensores de los impuestos al carbono señalan que los sistemas tributarios son instituciones de política existentes, maduras y universales. Todo país aplica impuestos. Su cumplimiento se articula a partir de reglas, estructuras administrativas, protocolos recaudatorios, labores privadas de asesoría fiscal, tribunales que resuelven posibles disputas impositivas... Los gobiernos necesitan ingresos para financiar su actividad y, de hecho, la situación fiscal de numerosos países desarrollados aconsejaría un mayor nivel de caudales públicos. Frente a todo este bagaje, hay mucha menos experiencia en el ámbito de los mercados de derechos de emisiones.

Los límites cuantitativos inherentes a los mercados de derechos de emisiones producen una fuerte volatilidad en el precio de mercado del carbono. Lo vemos en la figura 35, ligada al esquema europeo. Dicho gráfico muestra cómo los precios fluctuaron en 2008, disminuyendo casi un 75 por ciento en cuestión de meses. La volatilidad surge porque tanto la oferta como la demanda de permisos son insensibles al precio de los derechos. Ese alto nivel de volatilidad es económicamente costoso y envía señales inconsistentes a los agentes decisores del sector privado. Claramente, un impuesto al carbono proporcionaría un entorno más claro y evita una variación amplia y notable en los precios.

Otra diferencia importante entre los dos sistemas tiene que ver con quién paga y quién recibe el coste. Históricamente, los permisos o concesiones ligados a los mercados de derechos de emisiones se han asignado gratuitamente a compañías reguladas. En el programa de SO_2 de Estados Unidos, introducido en 1990, la práctica totalidad de los permisos de emisiones se asignaron de forma gratuita a empresas de servicios

eléctricos o compañías que históricamente generaban importantes emisiones y, por tanto, debían ser reguladas. La asignación gratuita ayudó a reducir la oposición política al plan por parte de las empresas reguladas. No fue un caso aislado: en las primeras etapas del Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea, los permisos se otorgaron de manera similar. Sin embargo, los economistas consideran que la asignación gratuita de derechos de emisión es objetable porque desperdicia recursos fiscales y no repercute negativamente en la cuenta de resultados de dichas empresas, de modo que mejora su situación con respecto a un escenario en el que se les exija pagar por el verdadero coste de su actividad.

Con un impuesto al carbono, los ingresos van al gobierno y pueden ser usados para financiar políticas públicas y medidas de sostenibilidad. Esto no significa que el gravamen carezca de inconvenientes. Por ejemplo, la cantidad total de emisiones es incierta bajo el supuesto del impuesto al carbono. Si estableciéramos un impuesto universal al carbono de 25 dólares por tonelada, no sabríamos la cantidad real de emisiones que se van a completar, sólo que se introduciría dicho coste en el proceso productivo. Así, si tenemos una idea más o menos clara del nivel de calentamiento que queremos evitar, la idea de no poder actuar de forma directa en este plano entraña un inconveniente importante de los impuestos al carbono. Esto sugiere que, a menos que se pueda aumentar paulatinamente, un impuesto al carbono no puede garantizar automáticamente que el mundo evite un calentamiento cada vez mayor.

Los defensores del mercado de derechos de emisiones afirman que dicho paradigma tiene también mayor atractivo político y mayor durabilidad. La oposición política de los grupos empresariales perjudicados se puede aminorar con la asignación de subsidios gratuitos. De hecho, el valor de las asignaciones gratuitas parece ser mucho mayor que las ganancias generadas con regulaciones estrictas. Es una forma de aunar voluntades.

Un último argumento político es que los impuestos son difíciles de introducir pero fáciles de reducir. Tal vez los científicos persuadirían al gobierno para que introdujera un impuesto al carbono elevado, lo que daría una fuerte señal a las empresas para que comiencen a hacer inversiones con

bajas emisiones de carbono. Pero, si los vientos políticos cambian, el próximo gobierno puede revertir esa política e incluso eliminar el impuesto. En cierto sentido, la volatilidad de los precios que vemos en la figura 35 puede verse reemplazada por la volatilidad política de un impuesto al carbono sujeto a luchas partidistas.

La historia de la regulación sugiere que las normas medioambientales tienden a tener una mayor durabilidad y, en general, han sido irreversibles. En Estados Unidos, el Congreso introdujo en 1990 un endurecimiento de las reglas de emisiones de SO_2. A pesar de los grandes cambios políticos que ha vivido Estados Unidos desde entonces, los estándares de emisiones apenas han cambiado. Por esta razón, muchos analistas creen que la ruta regulatoria de una política de límites máximos y comercio sería más duradera y tendría una mayor posibilidad de ser una medida creíble y estable a largo plazo.

Pero entonces, considerando que hay argumentos a favor y en contra de las dos opciones disponibles, ¿a qué conclusión podemos llegar? Ante todo, hay que decir que cualquiera de las dos es válida y efectiva. Al final, el objetivo más importante es aumentar el precio del CO_2 y de otras emisiones de GEI. Si a los países les resulta más fácil aumentar dichos precios a través de un mercado de derechos de emisiones, pues adelante. Si a otros países les resulta más conveniente el impuesto especial a las emisiones, entonces que sigan dicho camino. Como se enfatiza en el capítulo 21, cualquier otro enfoque es inferior frente a los dos que baraja esta sección del libro. La meta es reflejar las emisiones en el coste de los bienes y, en la medida en que el mercado de derechos y el impuesto especial hacen eso mismo, vamos por buen camino.

Personalmente, si me obligan a elegir, he de admitir que los argumentos económicos que aconsejan enfocar este tema a través de la tributación del carbono me resultan más convincentes, en particular por los ingresos, la menor volatilidad y la transparencia, simplicidad y previsibilidad del mecanismo. Pero en países como Estados Unidos vemos que ha calado en la opinión pública una poderosa aversión a los impuestos, de modo que el modelo del mercado de derechos de emisiones puede terminar siendo más aceptable, al menos políticamente.

¿Una vía intermedia?

Hay muchas consideraciones contrapuestas en cuanto al peso de los impuestos sobre el carbono frente al tope y el comercio. ¿Existe un enfoque híbrido que combine las fortalezas del régimen del impuesto sobre el carbono con los límites e incentivos del mercado de derechos de emisiones? Quizá el enfoque más prometedor sería una vía intermedia que incorpore límites cuantitativos, por un lado, y aplique gravámenes a las emisiones, por otro. Incluso se puede crear un esquema en el que se comercien los derechos de emisiones calculándolos como un múltiplo del impuesto en vigor, para así reducir la volatilidad y asegurar que se contienen los costes de implantar algo así.

Un sistema híbrido compartiría las fortalezas y debilidades de ambas opciones. No tendría límites cuantitativos firmes, pero los límites cuantitativos suaves guiarían a las empresas y los países, generando confianza en torno al logro de los objetivos climáticos. El esquema híbrido tendría también algunas ventajas propias del sistema impositivo. Incorporaría una vía de ingresos públicos más certera, reduciría la volatilidad de los precios, mitigaría los incentivos para la corrupción y ayudaría a aliviar las incertidumbres. Si entre el precio mínimo y el margen superior de emisiones que se puede admitir hay una diferencia reducida, entonces el impuesto es más conveniente. Si ocurre todo lo contrario, el sistema de derechos de emisiones es más lógico.

Al igual que ocurre con sistemas complejos como la economía y el clima, muchos de estos planteamientos son apenas bocetos de un esquema que requeriría un estudio más profundo. No en vano, se han publicado extensos análisis legales y económicos sobre estas cuestiones.[192] Un tema particularmente espinoso es el tratamiento del carbono existente en bosques y suelos. En principio, el sistema otorgaría créditos de carbono cuando el carbono se acumula en los árboles, y los propietarios pagarían cuando cortan y queman esos árboles. Pero, en la práctica, mantener un registro preciso de estos movimientos está fuera de las capacidades actuales de supervisión, de modo que la inclusión de los bosques en un sistema internacional de control de GEI presenta problemas notorios.

Otra complicación sería la medición de los flujos de GEI a través de las fronteras nacionales en el caso de que los sistemas nacionales de control de emisiones no estén armonizados. Supongamos que Estados Unidos tiene un impuesto de 50 dólares por tonelada de CO_2, mientras que Canadá aplica un impuesto de 20 dólares por tonelada. En un mundo ideal, las importaciones de CO_2 de Canadá a Estados Unidos podrían pagar un impuesto adicional que cubra la diferencia (30 dólares por tonelada). Pero, ¿cómo tratar el CO_2 que migra entre ambas fronteras de manera indirecta? ¿Cómo fijar el impuesto fronterizo, incluyendo sólo los combustibles fósiles o también bienes cuya producción es intensiva en CO_2, como el acero? ¿Cabe diseñar el impuesto fronterizo a partir de una estimación de las emisiones generadas por los bienes y servicios importados?

No olvidemos, por otro lado, que este sistema se vuelve más complicado conforme los precios del carbono suben. Si dicho indicador está en los 500 o 1.000 dólares por tonelada de CO_2, como proponen algunos expertos, entonces unos pocos puntos porcentuales de aumento de dicho indicador pueden terminar por romper mercados enteros, que no podrían asumir dicho encarecimiento aparentemente bajo.

Éstos son sólo algunos ejemplos de los muchos detalles que deberán resolverse en el momento de llevar a la práctica una política climática global. Pueden resultar tediosos para los no especialistas y pueden hacer que los abogados trabajen duro para cuadrar estos requisitos tan complejos. Pero establecer un precio para las emisiones de CO_2 y otros GEI es un paso vital en el camino hacia la desaceleración del calentamiento global.

21

Hacia la armonización de políticas a nivel global

En los dos capítulos anteriores explorábamos qué soluciones de mercado pueden ayudar a los gobiernos a la hora de frenar el ritmo del calentamiento global. Fijar un precio al carbono es vital para lograr este objetivo. Puede lograrse por dos vías: un mercado de derechos de emisiones que vaya de la mano de un tope máximo a las emisiones o una nueva figura fiscal que grave las emisiones de carbono a la atmósfera. Estas soluciones se aplican a nivel nacional y, de hecho, han sido desarrolladas desde hace más de una década por la Unión Europea, que las incorporó a su Régimen de Comercio de Derechos de Emisión.

Pero la meta final de una política efectiva para el calentamiento global es conseguir que el alcance sea universal. Por algo se le llama calentamiento «global», no «regional»... De modo que en el siguiente capítulo se estudian regímenes internacionales, como el fallido Protocolo de Kioto, y se consideran diversas propuestas orientadas a consolidar políticas internacionales más efectivas. Para consolidar ese nuevo régimen mundial es fundamental cambiar los incentivos y eliminar el problema del *free rider*, es decir, el riesgo de que algunos países se queden al margen del acuerdo y, sin realizar esfuerzo alguno, se beneficien de los sacrificios asumidos por los demás.

Las externalidades, a escala mundial

El calentamiento global es un fenómeno inusual que podemos entender como una externalidad económica negativa de alcance global. La globalización ha hecho que retos mundiales como el que entraña el cambio climático se conviertan en una preocupación cada vez más generalizada,

puesto que vivimos rápidos procesos de cambio tecnológico que catalizan y aceleran los cambios del mundo en que vivimos. Para tratar con las externalidades económicas negativas de alcance global tenemos que lidiar con la falta de eficiencia y efectividad que tienen, en la práctica, la mayoría de soluciones sugeridas por los actores políticos más relevantes.

Las externalidades globales siempre han existido y, de hecho, han desafiado desde hace mucho tiempo a los gobiernos de medio mundo. En siglos anteriores, los políticos enfrentaban el miedo a grandes conflictos religiosos, invasiones por parte de ejércitos vecinos, escenarios de propagación de enfermedades infecciosas como la plaga... En el mundo moderno, algunos de estos desafíos se han modernizado, pero siguen en pie. Además, han surgido nuevas amenazas: la proliferación nuclear, el tráfico de drogas, las crisis financieras internacionales, la amenaza de una guerra cibernética...

De momento, los gobiernos del mundo han tenido poco éxito a la hora de lidiar con las externalidades económicas globales. Hay algunos ejemplos esperanzadores. Por ejemplo, buena parte de las disputas comerciales internacionales se dirimen satisfactoriamente a través de la Organización Mundial del Comercio. Otro ejemplo son los protocolos para limitar el uso de clorofluorocarbonos, una estrategia orientada a proteger la capa de ozono que sí ha tenido buenos resultados. Pero no ha ocurrido lo mismo con las crisis económicas (como ha demostrado la Gran Recesión) y tampoco parece que haya cambios a mejor en el terreno climático.

El estudio de las cuestiones económicas derivadas de los tratados internacionales que regulan el medio ambiente arranca con un economista de la Universidad de Columbia: Scott Barrett. Tanto él como otros académicos han estudiado decenas de acuerdos y, tomando como referencia los dos ejemplos anteriores, han concluido que el éxito se deriva de pactos en que los beneficios superan con creces los costes. Además, Barrett y sus colegas encuentran que es vital sacar adelante instituciones eficaces que ayuden a desbloquear los procesos y fomentar la cooperación entre las naciones participantes de los acuerdos.[193]

La gobernanza es un tema central en el tratamiento de las externalidades globales, porque una gestión eficaz requiere una acción concertada por parte de los principales actores nacionales. Pero, según el derecho internacional actual, no existe un mecanismo legal por el cual una mayoría de países pueda exigir que otras naciones asuman la responsabilidad de gestionar los riesgos que nos ocupan. Por otro lado, métodos extralegales como el recurso a la fuerza armada se antojan equivocados, al menos como fórmulas promotoras de un orden mundial cooperativo y libre.

En los capítulos anteriores demostramos que las acciones efectivas que buscan reducir el calentamiento global requieren tanto de una participación casi universal por parte de todos los países como de la aplicación de una agenda de políticas armonizadas o coordinadas. Primero, la mayoría de los países del mundo tienen que sumarse al acuerdo. Después, esa mayor participación ayuda a que el esfuerzo relativo que asume cada país sea menor, lo que hace más viable el éxito del plan. Así las cosas, una política efectiva requiere de condiciones estrictas que deben cumplirse a rajatabla.

¿Cuáles son las propuestas y las instituciones que pueden ayudarnos a abordar una externalidad global como es el cambio climático? Conocemos cuatro enfoques principales.[194] Son los siguientes:

- Inacción. Hay quienes abogan por no tomar medidas para reducir la oferta y demanda del mercado. Confían en que la competencia y la innovación inviertan la deriva, pero este enfoque, compartido por muchos países, no ha demostrado ser útil a la hora de contener el calentamiento global.
- Acciones unilaterales. Bajo este planteamiento, los países establecen sus propios objetivos climáticos, pero no se coordinan entre sí. No pocos países han pasado de la inacción a la unilateralidad. Por ejemplo, en Estados Unidos se introdujeron numerosos objetivos climáticos en las regulaciones económicas de la era Obama. Otro ejemplo es China, que prometió reducir sus emisiones de CO_2 por unidad de PIB un 40-50 por ciento, tomando como referencia las cifras de 2005. Pero estos objetivos son relativamente blandos e ineficientes. En Estados Unidos se aplicaron salvaguardias que redujeron la incidencia de estas normas,

mientras que en China se incluyeron cláusulas que eximían a las autoridades de la obligación de rendir cuentas a nivel internacional. Por tanto, no es un camino útil para un reto tan significativo.

- Pactos regionales. Un ejemplo es el mecanismo de compra-venta de derechos de emisiones instaurado en la Unión Europea. Todos los países tienen un tope máximo que aspira a reducir a la mitad las emisiones de CO_2. Los derechos de emisiones pueden comercializarse en los mercados especializados que se ocupan de esta cuestión. Mediante pactos regionales, los gobiernos pueden simplificar las negociaciones y facilitar la toma de medidas efectivas. Sin embargo, sólo la Unión Europea ha demostrado la validez de estos acuerdos, mientras que en otras áreas del mundo vemos que pactos como la Liga Árabe o la Unión Africana han sido incapaces de forjar acuerdos orientados a reducir las emisiones.
- Acuerdos mundiales y vinculantes. Se trata de crear alianzas entre todos o la mayoría de los gobiernos del mundo para reducir las emisiones de GEI utilizando una combinación de medidas regulatorias y fiscales. La historia y evolución de este cuarto y último enfoque se presenta en las páginas que siguen.

Breve historia de los acuerdos climáticos internacionales

Los riesgos del cambio climático fueron reconocidos por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, ratificada en 1994. Aquel documento afirmaba que «el objetivo final [...] es lograr [...] estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera hasta alcanzar niveles que eviten interferencias antropogénicas peligrosas para el sistema climático».[195]

El primer paso para implementar el Convenio Marco se tomó con el Protocolo de Kioto, en 1997. Los países de ingresos más altos se comprometieron entonces a limitar sus emisiones hasta lograr que en 2008-2012 se situasen un 5 por ciento por debajo de los niveles observados en 1990. Bajo el Protocolo de Kioto se desarrollaban distintas características institucionales, como los requisitos de información. Kioto también

introdujo un método para calcular la importancia relativa de diferentes GEI. Sin embargo, la innovación más relevante de aquel pacto fue la instauración de un mercado de derechos de emisiones como medio para coordinar las políticas de los distintos países.

El Protocolo de Kioto fue un intento ambicioso de construir una arquitectura institucional internacional capaz de armonizar de manera efectiva las políticas climáticas de los distintos países. Pero los políticos no lo encontraron económicamente atractivo. Estados Unidos se retiró muy temprano del acuerdo. Ningún país rico o en vías de desarrollo sumó su firma a la de los socios iniciales. Poco a poco, la cobertura de emisiones sujeta al acuerdo fue bajando. Además, las emisiones crecieron rápidamente en naciones no cubiertas por el Protocolo, especialmente en países en vías de desarrollo como China. El Protocolo tal como se diseñó en un principio hubiera cubierto dos tercios de las emisiones globales en 1990, pero el alcance real en 2012 era de apenas una quinta parte de las emisiones de todo el planeta. Los análisis muestran que, aunque se extendieran indefinidamente, las reducciones logradas por Kioto tendrían un impacto muy limitado en el cambio climático futuro. De modo que el acuerdo murió con más pena que gloria el 31 de diciembre de 2012.[196]

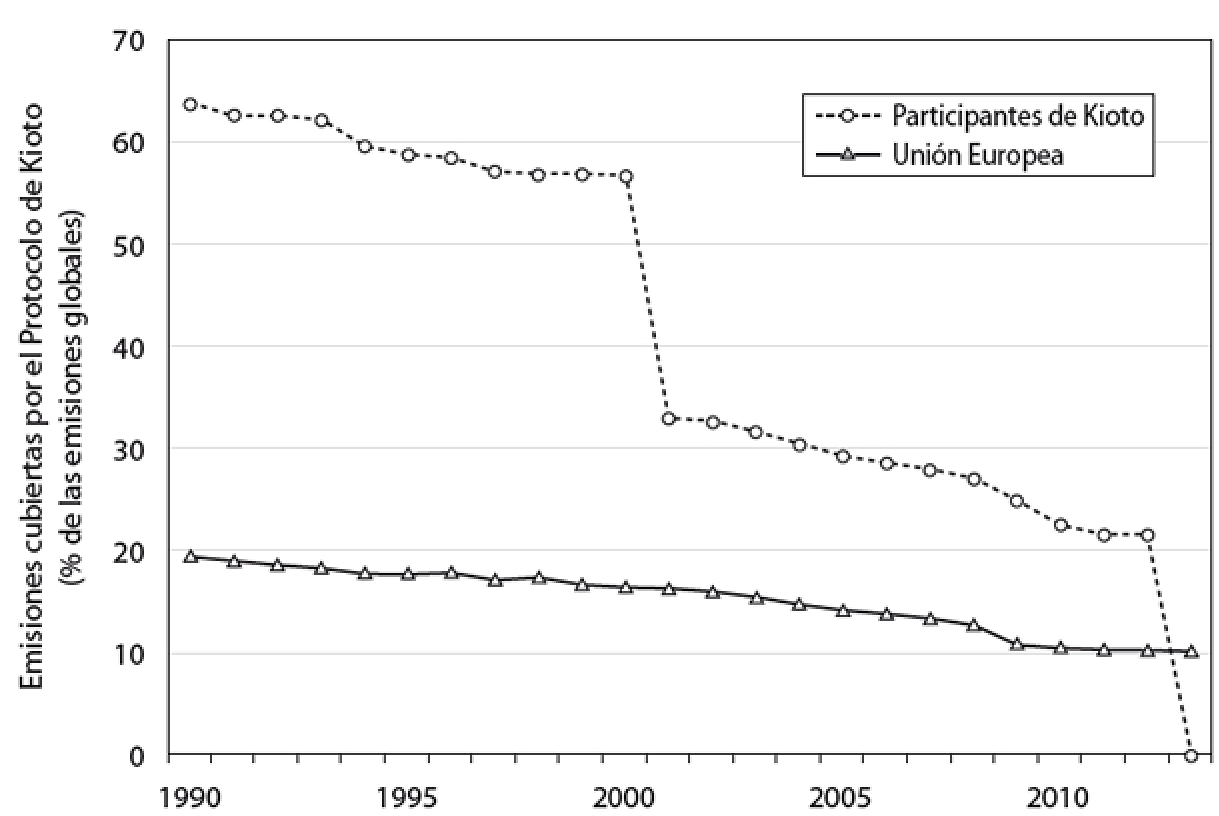
La Cumbre de Copenhague de 2009 fue diseñada para llegar a un acuerdo que sucediese al Protocolo de Kioto. La capital danesa fue testigo de la firma del pacto conocido como Acuerdo de Copenhague. Bajo dicho marco se adoptó un objetivo de temperatura global que reconocía «la visión científica de que el aumento [...] debe ser inferior a 2 grados centígrados». Sin embargo, dado que los países no estaban dispuestos a adoptar compromisos vinculantes y parecían más preocupados por el reparto de los costes, la cumbre concluyó sin avances sustantivos en materia de limitación de emisiones.

¿Cuál es la implicación de la desaparición del Protocolo de Kioto y del fracaso del Acuerdo de Copenhague? A corto plazo, parecía animar el desarrollo de acciones unilaterales (el segundo de los cuatro enfoques mencionados anteriormente). También parecía abrirse la puerta a algún tipo de acuerdo regional, como es el caso de la Unión Europea. Sin embargo, no había unanimidad en la respuesta: los europeos se escoraban a los mercados

de derechos de emisiones, los estadounidenses preferían las medidas regulatorias, los chinos preferían introducir restricciones de diseño y supervisión propia... Todas estas políticas pueden reducir ligeramente la trayectoria de las emisiones en los próximos años, pero es poco probable que lo hagan de forma eficiente.

He ahí el problema. Este libro insiste en que las medidas ineficientes complican notablemente la consecución de las metas climáticas. En el capítulo 22 se habla con más detalle de esta cuestión, pero de momento basta con recordar que, como establecen secciones anteriores, es difícil que las soluciones unilaterales sirvan para garantizar que el cambio climático no va a rebasar los umbrales peligrosos.

FIGURA 36 **Proporción de emisiones globales**



Nota: El Protocolo de Kioto (la línea de puntos) cubría casi dos tercios de las emisiones mundiales cuando fue diseñado. Sin embargo, el crecimiento de los países en desarrollo y el abandono del acuerdo por parte de Estados Unidos y Canadá redujeron esta proporción, hasta dejarla en torno al 20 por ciento observado en 2012, fecha en que expiró el acuerdo. La Unión Europea fue el principal socio cumplidor durante todo este período (lo vemos en la línea continua).

Es doloroso concluir que un enfoque ambicioso y bien intencionado, como son los acuerdos internacionales, ha terminado revelándose como un esfuerzo fracasado. Muchas mentes brillantes han invertido tiempo y esperanza en esta vía, pero la experiencia ha sido decepcionante. Por tanto, el hecho es que las acciones coordinadas a nivel global son respuestas abstractas que, en la práctica, están lejos de la realidad geopolítica y diplomática. El tiempo perdido y el análisis de coste-beneficio hacen que, de hecho, sea más razonable aspirar a que el calentamiento no rebase los 3 grados centígrados a que se cumplan los compromisos de 2 grados centígrados expresados en Copenhague.

Las negociaciones sobre el cambio climático han entrado en una inercia de bloqueo. Cada año se realizan nuevas rondas y conferencias internacionales: Nairobi en 2006, Bali en 2007, Poznan en 2008, Copenhague en 2009, Cancún en 2010, Durban en 2011, Doha en 2012... Cada cumbre concluye con informes o acuerdos bienintencionados, pero avances reales hay pocos.[197] El modelo de Kioto es un callejón sin salida.

La estructura de los acuerdos internacionales

Una política eficiente para reducir el calentamiento global requiere que las políticas nacionales se armonicen. Estrictamente hablando, la armonización de políticas significa que los costes marginales de las reducciones de emisiones en cada país son idénticos. La idea es paralela al concepto del mercado de derechos de emisiones. Supongamos que el objetivo óptimo de emisiones es de 30.000 millones de toneladas de CO_2 por año. Para minimizar los costes de cumplir con este techo, el coste de la última unidad reducida (es decir, el costo marginal en el lenguaje de los economistas) debe ser igual para todos los sectores de todos los países implicados. Recordemos ahora la figura 34: si en vez de entenderla como un permiso «empresarial» la vemos como una autorización «nacional», veremos que el funcionamiento es exactamente el mismo.

La forma más fácil de lograr la armonización de los costes marginales es asegurarse de que los precios de las emisiones de CO_2 están igualados en cada país participante. Esto significa que cada empresa afronta unos costes marginales de reducción equivalentes al precio del CO_2. Eso implicará que cada compañía en cada país tendrá el mismo coste marginal. Y, por esta vía, el coste de cumplir con los objetivos de emisiones globales se minimizará. Puede que parezca utópico, pero éste es el ideal que debemos tener en mente a la hora de estructurar las políticas climáticas.

Al igual que ocurre en clave doméstica, hay apenas dos enfoques que pueden armonizar las políticas entre los países. Una forma de hacerlo es a través de una política internacional que, fijando un techo de emisiones, desarrolle un mercado de derechos. Es el esquema favorecido por la Unión Europea y el escenario que preveía Kioto. Bajo tales planes, las emisiones de los países estarían limitadas y los permisos de emisiones podrían comprarse y venderse entre los países participantes. Este mecanismo de mercado asegura que los precios se igualen en los diferentes países y esto también ayudaría a igualar los costes marginales de reducción, lo que conduciría al menor coste global posible. Otra forma de hacerlo es mediante un régimen en el que los países fijan un precio mínimo para el carbono, ahora de forma armonizada. Así, con un impuesto o tasa, los países se comprometerían a penalizar las emisiones de carbono, siguiendo ese precio mínimo.

El precio del carbono a nivel mundial

Si bien la estructura del mercado de derechos de emisiones es relativamente familiar para quienes han seguido las negociaciones sobre el cambio climático, la estructura de un régimen centrado en el precio del carbono es relativamente novedosa en este terreno, de modo que requiere cierta explicación. La idea básica es que los países acordarían un determinado precio del carbono, en lugar de una limitación de emisiones. La implementación real estaría bajo el control de los gobiernos nacionales, sujetos a normas comunes de seguimiento, verificación y cumplimiento.

El primer paso sería acordar el precio objetivo del carbono. Existe abundante literatura sobre los precios del carbono. Para entender mejor la propuesta, he escogido una ruta de precios que sería consistente con un tope al aumento de la temperatura global equivalente a 2,5 grados centígrados. Si bien se pueden elegir otros objetivos, este rango viene recomendado por el análisis de coste-beneficio del capítulo 18, así como por modelos de evaluación integrados más completos. Si regresamos a la figura 33 podemos ver la trayectoria de los precios del carbono, según estimaciones de modelos económicos que asumen distintos niveles de participación y eficiencia en las políticas climáticas. En el ejemplo que nos ocupa, empleo el punto medio de dichas estimaciones, que, para 2015, ronda los 25 dólares por tonelada de CO_2. No obstante, siempre se pueden fijar otros objetivos: si queremos menos calentamiento, encarecemos el precio del carbono.

La siguiente pregunta que debemos hacernos es la relativa a la aplicación efectiva de estos precios. ¿Cómo se convierte esta obligación en una realidad vinculante? Como mínimo, todos los países deberían acordar una penalización a las emisiones de carbono y otras emisiones de GEI que se ajuste al precio acordado o, en el caso de que se busquen objetivos más ambiciosos, en niveles más altos. La verificación de los precios reales del carbono requeriría informes transparentes por parte de los países.

El proceso de establecimiento del precio requeriría un tratado marco. Las decisiones sobre dicho umbral podrían realizarse mediante una votación ponderada, puesto que obviamente hablamos de un punto importante y polémico para las negociaciones internacionales. No obstante, también es justo reconocer que la negociación del precio mínimo del carbono a nivel mundial es algo mucho menos polémico que el cálculo de límites de emisiones nacionales.

La simplicidad que ofrece el cálculo de un solo precio del carbono es notable, en comparación con los límites individuales de emisiones específicos de cada país. Por tanto, aunque es complicado llegar al precio mínimo del carbono a nivel mundial, el proceso es menos tedioso que otras alternativas.

Podemos ilustrar esta situación con el ejemplo de las negociaciones de las cuotas de un club social. Supongamos que varias personas desean crear un club. Puede que sea de golf, de críquet o de caza de patos. Estas personas no son iguales: difieren en su entusiasmo, su cercanía, su familia, su nivel de renta... Así, un enfoque posible pasará por negociar las cuotas miembro por miembro, asignando a cada uno una parte determinada del total. No obstante, este procedimiento requeriría una negociación larga y complicada. Puede que haya clubes que negocien las cuotas miembro por miembro, pero no conozco ninguno que siga este protocolo. Sin embargo, ése es el enfoque del modelo de Kioto, de modo que no es difícil entender por qué su aplicación ha sido compleja e infructuosa.

En nuestro ejemplo, negociar un precio común para las acciones del club parece mucho más fácil que negociar las cuotas de los socios de forma individual y aislada. Lo mismo ocurre con los pactos climáticos. Quizá los alemanes podrían defender un precio más alto, mientras que los canadienses pedirían un precio bajo y Arabia Saudí exigiría un coste simbólico. Consideradas las distintas propuestas, se establecería el precio de forma transparente y no sería necesario realizar más negociaciones, porque no habría precios diferenciados para cada país. Como en el ejemplo del club, el pacto redunda en negociaciones más constructivas.

La administración del precio armonizado no dicta qué tipo de medidas se aplican a nivel nacional, de modo que los gobiernos podrían elegir el mecanismo que más les convenga. Lo importante sería cumplir con el precio internacional, pero este marco global no diría si hay que hacerlo con mercados de derechos de emisiones o con impuestos al carbono. Incluso se podrían implementar enfoques mixtos (combinando topes con precios mínimos y subastas de derechos).

Desde un punto de vista económico y medioambiental, la comparación entre un sistema internacional de derechos de emisiones y un sistema de impuestos al carbono aprobado de forma universal es similar a lo que ya anticipaba el capítulo anterior, referido a las soluciones domésticas. Muchas de las ventajas y desventajas son las mismas cuando la discusión se traslada al terreno global. Sin embargo, los obstáculos reales no son técnicos, sino políticos. Y, en este sentido, cualquier tratado internacional tiene que lidiar

con la soberanía y las prerrogativas nacionales, de modo que es importante favorecer un formato en el que los países retengan libertad para configurar sus políticas climáticas dentro de los objetivos fijados a nivel mundial.

El régimen de precios mínimos es un enfoque amistoso, parecido a los acuerdos sobre aranceles o a los tratados fiscales que ya se aplican en todo el mundo. Es menos probable que un pacto así despierte recelos o tabúes nacionalistas. Se diferencia, por tanto, del enfoque intrusivo e intervencionista que intuyeron muchos actores tras la ratificación del Protocolo de Kioto.

Obligaciones para países ricos y pobres

Los acuerdos internacionales suelen diferenciar entre las responsabilidades de los países pobres y los ricos. Bajo el Protocolo de Kioto, por ejemplo, los países ricos tenían limitaciones vinculantes de emisiones, mientras que los de ingresos medios y pobres no tenían topes efectivos y sólo estaban obligados a informar sobre la evolución de sus emisiones.

En un acuerdo futuro más completo, los países ricos deberán tomar medidas inmediatas para reducir las emisiones, los países de ingresos medios tendrán que unirse al acuerdo y reducir las emisiones a corto-medio plazo y los países más pobres tendrán que participar a largo plazo, quizá recibiendo asistencia para reducir sus emisiones.

¿Cuál es la distribución de las emisiones entre los países según los diferentes grupos de riqueza? La tabla 11 muestra las emisiones de CO_2 con este enfoque. He tomado como referencia los 167 países para los cuales el Banco Mundial proporciona datos y los he dividido en cinco grupos, clasificados según su ingreso per cápita.[198] Los países que hoy tienen un ingreso alto (renta per cápita de 20.000 dólares o más) son responsables de algo menos de la mitad de todas las emisiones de CO_2. Si incluimos al grupo 2 y al 3 (renta media y renta media-baja), vemos que estos países representan el 90 por ciento de las emisiones. Aquí figuran países ricos,

pero también economías emergentes como China, Sudáfrica, Ucrania, Tailandia, Kazajstán, Egipto, Argelia, Colombia, Turkmenistán, Perú o Azerbaiyán.

Los países de ingresos altos adquirieron ciertos compromisos en virtud del Protocolo de Kioto, aunque no todos cumplieron con estos compromisos y, como ya se ha comentado, Estados Unidos y Canadá se retiraron del pacto. Conseguir el concierto de este grupo de naciones es vital para un pacto mundial efectivo.

TABLA 11 **Distribución de las emisiones, por nivel de renta**

Grupo de renta	**Nivel de renta por habitante ($ 2005)**	**Peso acumulado sobre las emisiones globales de CO_2 (%)**	**Nº de países**
Alta	20.000	46,3	35
Media	10.000	60,8	30
Media-baja	5.000	89,9	30
Baja	2.000	99,1	35
Muy baja	280	100	37

Sin embargo, el problema no puede resolverse si los países ricos actúan solos. Alcanzar un objetivo ambicioso de limitación del aumento de la temperatura requiere que participen también los países citados anteriormente, puesto que suponen prácticamente el total de las emisiones mundiales. Incluyendo a los países de renta alta, media y media-baja, alcanzamos el 90 por ciento y contamos con socios participantes como China e India.

Para estos países, unirse al régimen de precios del carbono parece un objetivo razonable a largo plazo, teniendo en cuenta que planteamos un gran acuerdo internacional sobre el cambio climático. Sin embargo, los costes del acuerdo son impopulares y difíciles de asumir para economías emergentes como China e India. Por tanto, hay que asegurarse de que el acuerdo es efectivo y no supone una carga excesiva para los países que no son ricos pero sí van a sumarse al esfuerzo. Por eso es interesante el

planteamiento del régimen de precio mínimo del carbono: porque aporta los incentivos necesarios para alentar la participación de quienes tengan más dudas.

¿Qué pasa con los países más pobres? Ya hemos visto la importancia de la participación universal. Sin embargo, es injusto y poco realista esperar que los países que aún luchan por proporcionar agua potable limpia o educación básica a sus ciudadanos hagan sacrificios que el mundo rico sólo ha empezado a hacer tras décadas o incluso siglos de bienestar. Por suerte, hacer esta concesión no implica un cambio a peor en nuestra estrategia, ya que, salvo Nigeria, las emisiones de CO_2 generadas por los países de ingresos más bajos son insignificantes. Como refleja la tabla 11, los 72 países de ingresos más bajos producen apenas el 10 por ciento de las emisiones globales. Si se incluyen los cien países principales, más India y China, cubrimos el 90 por ciento de las emisiones globales. Parece más que suficiente para que el acuerdo sea exitoso.

Los mejores mecanismos para alentar la participación de los países de bajos ingresos podrían ser aquellos que combinen la ayuda financiera y el soporte tecnológico como vías para facilitar la adopción de tecnologías de bajas emisiones de carbono. Otra fórmula interesante sería una campaña para persuadir a estos países de que introduzcan impuestos al carbono en vez de otros impuestos.

La ventaja de los impuestos al carbono en relación con las reducciones de emisiones vinculantes es especialmente interesante en países con estructuras de gobierno más débiles. Parece improbable que estos países puedan establecer un mercado de derechos de emisiones sin afrontar problemas de corrupción.[199] Por el contrario, un impuesto al carbono puede satisfacer las necesidades de ingresos de los gobiernos y ayudar a reducir el peso de otros tributos.

Asegurar el cumplimiento

Al final, sea cual sea el régimen internacional que escojamos para frenar el cambio climático, lo más importante es asegurar que los países cumplen sus compromisos. Hay que eliminar la figura del *free rider*. Bajo este tipo de

acuerdos, hay incentivos muy fuertes para sumarse al pacto y luego ignorar sus obligaciones, puesto que los incumplimientos aislados de un país pueden verse compensados por los sobreesfuerzos de otros participantes. Sin embargo, hay que diseñar reglas que tumben la tentación de eludir o incumplir el acuerdo, porque sólo así aseguramos su efectividad.

El de Canadá es un caso interesante. Fue uno de los primeros entusiastas del Protocolo de Kioto. Suscribió una reducción del 6 por ciento en sus emisiones. Ratificó el tratado con gusto. Sin embargo, el mercado energético del país cambió dramáticamente en los años siguientes, con un rápido crecimiento de la producción de crudo y gas en los campos de Alberta. En 2009 las emisiones canadienses estaban un 17 por ciento por encima de los niveles de 1990, muy por encima del objetivo de aminorar sus cifras en un 6 por ciento. Así, Canadá terminó abandonando el acuerdo en 2011..., pero no hubo consecuencias adversas, a excepción de algunas protestas por parte de grupos ecologistas. Este ejemplo histórico nos recuerda lo importante que es incorporar sanciones o mecanismos que aseguren el cumplimiento. Un perro guardián sin dientes no es de gran ayuda a la hora de proteger una casa, y un acuerdo internacional sin capacidad de hacer valer lo firmado termina siendo inútil en la práctica.[200]

¿Cómo podrían introducirse mecanismos de cumplimiento en los acuerdos climáticos? Quizá la fórmula más inteligente pasa por vincular la participación y el cumplimiento con las condiciones en que se desarrolla el comercio internacional. Por ejemplo, los países que no participan o no cumplen con sus obligaciones estarían sujetos a sanciones comerciales. La forma estándar de aplicar sanciones son los aranceles a las importaciones de aquellos países que no cumplen con las disposiciones del tratado. Este enfoque se usa cuando los países violan los acuerdos comerciales, pero también se incluye en algunos acuerdos medioambientales internacionales.[201]

Se podrían considerar dos enfoques específicos. El más simple pasa por imponer un arancel de un porcentaje determinado (por ejemplo, un 5 por ciento) a las importaciones del país que no cumple con los requisitos. Esto

tiene la ventaja de la simplicidad y la transparencia, aunque también tiene el inconveniente de que no relaciona la cuota del arancel con el contenido de carbono de las importaciones.

Una segunda propuesta, comúnmente promovida por académicos que han estudiado esta fórmula como vía para hacer efectiva la aplicación, pasa por gravar con aranceles los bienes del país incumplidor, pero fijando la tasa en relación con su contenido de carbono. Este mecanismo se conoce como un «ajuste fiscal en la frontera». Según este esquema, las importaciones se gravarían en una cantidad equivalente al precio internacional del CO_2 acordado, ajustado al valor de carbono de cada importación.

Para entenderlo mejor, podemos plantear un ejemplo práctico que desarrolla el enfoque del ajuste fiscal en la frontera. Supongamos que el precio mínimo de carbono negociado internacionalmente es de 25 dólares por tonelada de CO_2. Supongamos también que el incumplimiento de Canadá sigue en pie y que dicho país exporta 1 tonelada de acero a la Unión Europea. Si los cálculos muestran que para producir la tonelada de acero se han emitido 1,2 toneladas de CO_2, la Unión Europea le aplicará un arancel de 30 dólares.[202] Sin embargo, si Corea cumple los tratados, su importación de acero al Viejo Continente estaría libre de impuestos.

Todo esto parece simple pero, en realidad, el régimen de ajuste fiscal en la frontera puede ser terriblemente complicado para los países que no cumplen. ¿Cómo calcularíamos exactamente el contenido de carbono de las importaciones? ¿Debemos aplicar el impuesto a todos los productos? Las importaciones de petróleo o gas natural serían más fáciles de ponderar, pero los diferentes tipos de carbón tienen diferentes contenidos de carbono y los técnicos tendrían que lidiar con todo eso. Además, los cálculos para bienes de consumo convencionales serían aún más difíciles. Si incluimos los automóviles, ¿contaríamos el CO_2 que proviene del carbón emitido para la producción del acero con el que se fabrican los coches? Por todo esto, los especialistas en comercio advierten que confiar en las sanciones comerciales abre la puerta a más incertidumbre e incluso a un rebrote del proteccionismo, que siempre está al acecho en busca de excusas para cerrar los mercados nacionales a los bienes y servicios extranjeros.

Por otro lado, a la hora de analizar el impacto del ajuste fiscal en la frontera, debemos tener en cuenta que las sanciones comerciales afectan sólo a los bienes que cruzan las fronteras, mientras que gran parte de las emisiones de CO_2 de un país provienen sólo de la producción nacional. Por ejemplo, de toda la energía consumida por los hogares, el transporte y las centrales eléctricas en Estados Unidos, apenas una fracción proviene del extranjero (5 por ciento), siendo el grueso de la producción doméstica (95 por ciento).

Para verlo desde otro ángulo, consideremos el reto de reducir las emisiones de CO_2 en Estados Unidos a partir de la generación de electricidad a base de carbón. Los estudios indican que ésta sería la forma más eficiente de reducir las emisiones totales. Sin embargo, Estados Unidos exporta menos del 1 por ciento de su generación eléctrica, por lo que el efecto de las tarifas aplicado al país norteamericano sería mínimo, puesto que esta producción se genera para el consumo doméstico de forma abrumadora.

Dada la complejidad del ajuste fiscal en la frontera, la alternativa del arancel porcentual uniforme aplicado a las importaciones puede ser la opción más favorable. La razón es que los no participantes están dañando a otros países con sus emisiones totales de GEI, de modo que no sólo cabe ponderar los daños en relación con los productos comercializados a nivel global. Si bien el comercio forma parte del sistema de aplicación de medidas que aseguran el cumplimiento de los objetivos, los intercambios internacionales no pueden ser el objetivo de las sanciones. Por tanto, el alcance de la tarifa arancelaria debe relacionarse con los daños provocados, de forma que los países tengan incentivos para promover una economía más sostenible.

Todos estos planteamientos nos recuerdan que quedarse fuera de los acuerdos climáticos tiene que tener consecuencias. Pero, ¿funcionaría un esquema como el que se defiende en estas páginas? De momento, sabemos que el coste del incumplimiento serían tasas visibles, costosas, polémicas e indeseables, pero también que el premio por el cumplimiento sería la

consolidación de grandes áreas de libre comercio entre las naciones que cumplan. Por un lado, el palo regulatorio y restrictivo; por otro, la zanahoria de la facilitación comercial.

Si bien aprovechar el sistema de comercio mundial para generar un acuerdo vinculante y efectivo es la opción más prometedora para superar la tendencia de los países a desmarcarse de estos acuerdos, hablamos de medidas que deben diseñarse con cautela. El actual régimen global de comercio libre y abierto es el resultado de esfuerzos muy notables que, con el paso del tiempo, han conseguido tumbar el proteccionismo. Dicho marco ha producido grandes ganancias para los estándares de vida en todo el mundo. Por tanto, debe estar vinculado a un acuerdo sobre cambio climático solamente si los beneficios para el régimen medioambiental son claros y los peligros para el sistema de comercio son escasos o, cuando menos, merecen la pena.

Al final, es importante tener claro que es vital diseñar acuerdos internacionales con incentivos que favorezcan la participación. Intentos anteriores, como el Protocolo de Kioto, partían de mecanismos de cumplimiento totalmente inadecuados. Esto suponía que muchos países podían mantenerse al margen sin enfrentar consecuencia adversa alguna. Es probable que las medidas comerciales sean el instrumento más útil para superar ese obstáculo y animar la participación. Pero las medidas comerciales sólo están relacionadas indirectamente con las emisiones y, en última instancia, hay que reconocer que su diseño y aplicación efectiva implica explorar un terreno desconocido hasta ahora para la política ambiental y comercial.

El establecimiento de políticas efectivas que ayuden a reducir el calentamiento global requiere cuatro pasos importantes. Primero, exige enfocarse en elevar el precio de las emisiones de CO_2 y otros GEI dentro de los procesos del mercado. Segundo, dado que los mercados no lo harán por sí solos, requiere que los gobiernos diseñen un régimen regulador, como el mercado de derechos de emisiones o los impuestos al carbono. Tercero, implica que la mayoría de las naciones acepten estos dos primeros pasos y,

además, coordinen sus políticas en línea con objetivos marcados a nivel global. Y cuarto, requiere un acuerdo internacional sobre cambio climático que contenga un mecanismo eficaz para asegurar su cumplimiento.

Los obstáculos que enfrenta la coordinación global son extremadamente altos. Todos los países velan por su soberanía con cautela. Los gobiernos nacionales son reacios a ceder el poder a cualquier organización internacional o grupo de países. Dada la urgencia de alcanzar un pacto mundial, y teniendo en cuenta estas reticencias, el enfoque más prometedor pasa por armonizar un precio mínimo del carbono a nivel mundial e implementar sanciones comerciales que castiguen a los incumplidores.

22

Alternativas y pasos futuros

Hay muchas personas que piensan que el calentamiento global es un asunto muy serio y que, probablemente, pueden estar de acuerdo con las propuestas de los tres capítulos anteriores. Quienes se interesan por estas cuestiones reconocen lo importantes que son los precios del carbono, entienden la importancia de reducir las emisiones vía impuestos o mercados de derechos, reconocen que es preciso un pacto global para gestionar eficaz y eficientemente la política climática... Sin embargo, también puede haber quienes, asumiendo la misma preocupación por el calentamiento global, determinen que las respuestas ofrecidas en capítulos anteriores son ideas utópicas, que quizá pueden contar con el beneplácito de científicos o economistas, pero que chocan con las prioridades del grueso de la población en su día a día. No en vano, miles de millones de personas viven más angustiadas por su trabajo, sus ingresos o su salud que por el clima, de modo que incluso en países ricos como Estados Unidos puede parecer radical e incluso innecesario el hecho de impulsar una agenda climática de gran alcance.

En efecto, si estudiamos las decisiones políticas de los últimos años en relación con esta materia, podemos ver que sólo en la Unión Europea se han dado pasos para aumentar el precio del carbono, a través del Régimen de Comercio de Derechos de Emisión. El Congreso de Estados Unidos ha intentado legislar sobre estas cuestiones, pero con poco éxito. En gran medida, la resistencia tiene que ver con el aumento de coste de los bienes y servicios energéticos y con el recelo a los impuestos. Como respuesta a estas actitudes, los gobiernos han explorado otros enfoques alternativos.

Tomemos el caso de Estados Unidos. Su caso es similar al de otros países aunque, siendo justos, el supuesto norteamericano añade también la alergia extrema que tienen muchos de sus ciudadanos ante los impuestos y la intervención del gobierno en la economía. Así las cosas, en los años noventa vimos que Bill Clinton defendía desde la Casa Blanca los límites de emisiones incluidos en el Protocolo de Tokio. No obstante, a raíz de la oposición que mostró el Congreso, el tratado nunca fue sometido a ratificación. Años más tarde, en 2009, el gobierno de Barack Obama propuso un tope a las emisiones que iría de la mano de un mercado de derechos. La medida fue aprobada por la Cámara de Representantes, pero fracasó en el Senado. Después de su reelección para un segundo mandato, el presidente Obama continuó argumentando enérgicamente en favor de la toma de medidas políticas orientadas a frenar el calentamiento global. La falta de avance en la esfera legislativa le invitó a explorar fórmulas alternativas, principalmente regulatorias. Así se justificó:

> Si el Congreso no toma medidas para proteger a las generaciones futuras, lo haré yo desde la Casa Blanca. Dirigiré a mi gabinete a que conciba acciones ejecutivas listas para ser aprobadas y orientadas a reducir la contaminación, enfrentar las consecuencias del cambio climático y acelerar la transición a fuentes de energía más sostenibles.[203]

Las acciones para «reducir la contaminación», que se entiende como una alusión a la necesidad de minar las emisiones de GEI, incluyeron normas ejecutivas que decretaban, por ejemplo, los niveles de eficiencia que debían tener los automóviles nuevos a la hora de procesar el combustible. También introdujo Obama topes a las emisiones de CO_2 de las centrales eléctricas, tanto de las existentes como de las nuevas.

Por tanto, no podemos ignorar que, en ausencia de grandes consensos, hay medidas alternativas que pueden avanzar la agenda pública en materia de cambio climático. ¿Cuáles son las principales alternativas que merecen ser consideradas y que sí contribuyen de forma efectiva a elevar los precios de las emisiones de CO_2? ¿Hay soluciones más allá de los mercados de derechos de emisiones o de los impuestos al carbono?

Las hay. Prácticamente todos los países han encontrado este camino paralelo en la esfera regulatoria. Por ejemplo, los gobiernos requieren una mayor eficiencia energética en terrenos muy dispares: energía, automóviles, electrodomésticos, construcción inmobiliaria... En paralelo, también están los subsidios a las tecnologías «verdes», categoría que incluye también los incentivos fiscales que facilitan la generación de energía renovable, el recurso a biocombustibles como el etanol o la compra de vehículos híbridos o eléctricos.

Prácticamente todos los países aplican, de hecho, impuestos específicos que recaen directamente sobre la energía. Salvo en los países productores de petróleo, estos gravámenes tienden a ser altos, para que la demanda de combustible foráneo sea menor y la dependencia energética del extranjero vaya a menos. Esto contribuye a que las industrias nacionales reduzcan sus emisiones.

Además de estas opciones, tenemos también la vía de los programas especiales de I+D. Estas iniciativas intentan fomentar el uso de nuevas tecnologías bajas en carbono. Estas novedades son vitales para acelerar la transición a un mundo más sostenible. Es importante fomentar este tipo de avances puesto que, haya o no políticas de fijación de precios del carbono, la I+D en este terreno es crucial para el éxito de las estrategias medioambientales de largo plazo. De todo esto versa el capítulo 23.

Dejando a un lado la I+D, la mayoría de las medidas políticas mencionadas en párrafos anteriores son soluciones que se han analizado cuidadosamente y que, por mucho que parezcan de sentido común, en la práctica resultan ser ineficaces para frenar el calentamiento global. Así las cosas, estos enfoques alternativos pueden complementar la agenda desplegada en capítulos anteriores, pero no sustituirla. El problema central es que hablamos de soluciones que requieren enormes desembolsos pero tienen impactos mínimos en el saldo total de emisiones de CO_2 y otros GEI. Dentro de la lista hay opciones poco efectivas, otras que tienen un éxito moderado pero a un enorme coste, y otras que incluso son contraproducentes y, en realidad, terminan aumentando las emisiones.

No es objeto de este libro tumbar una a una dichas alternativas, pero sí vale la pena dedicar algunas páginas a las alternativas regulatorias, que han sido las más utilizadas por los gobiernos que no han tenido éxito en otros campos. Además, este capítulo se ocupa de las dificultades que presentan todas las soluciones alternativas comentadas anteriormente, con ánimo de poner de manifiesto que son maneras costosas e ineficientes de reducir las emisiones. En la primera parte de este capítulo se analizan algunos enfoques alternativos como el regulatorio, que ya han sido explorados y han demostrado ser ineficientes. Después, en la segunda, se estudian otras propuestas alternativas, cuya implementación tampoco es recomendable.

Principales enfoques alternativos en materia de política climática

Toda política climática mínimamente seria puede tener resultados positivos. La cuestión es si dichos resultados se obtienen de forma eficiente, sostenible y razonable. «Nada es gratis» y, si queremos hacer un buen uso de los recursos, tenemos que conseguir una agenda de medidas que reduzca el «peso muerto» que deja en la economía el refuerzo de las restricciones medioambientales.

Ese «peso muerto» es la pérdida neta para la sociedad en términos de bienes y servicios previstos que no pueden salir adelante bajo los nuevos esquemas de costes y regulaciones que introducen las medidas en cuestión, en este caso de corte climático. Por ejemplo, en las estimaciones del coste de la desaceleración del cambio climático discutidas en el capítulo 15 se plantea que los costes son del 1 por ciento de la renta media global. Esto equivale a que, de media, el consumo de los ciudadanos baje en dicha proporción, de modo que el saldo resultante es negativo y, en efecto, hay un precio que pagar si queremos un mundo capaz de lidiar con el calentamiento.

Un ejemplo específico de lo que supone el peso muerto lo tenemos en las regulaciones gubernamentales que, por ejemplo, ordenan que los hornos reduzcan su consumo energético. A lo largo de su vida útil, un horno de

bajo consumo reduce sus emisiones de CO_2 en 10 toneladas, aunque su coste es 500 dólares mayor. Por lo tanto, diremos que el coste de la reducción de CO_2 es de 50 dólares por tonelada.

Hay que tener en cuenta que no contamos los impuestos al carbono como peso muerto, puesto que no acarrean pérdidas de eficiencia. Supongamos que hay un impuesto al carbono de 25 dólares por tonelada. Si mi consumo directo e indirecto de CO_2 es de 10 toneladas por año, pagaré 250 dólares por este tributo. Sin embargo, esos 250 dólares no «desaparecen», no son un peso muerto, sino que son una transferencia que va al gobierno. Con esos 250 dólares, las autoridades pueden mejorar los servicios públicos, bajar los impuestos, etc. De manera que, si pagamos 250 dólares por el impuesto al carbono pero nuestro Impuesto sobre la Renta baja otros 250 dólares, nuestro ingreso real es esencialmente el mismo. Esto muestra por qué, al menos en una primera aproximación, no es recomendable considerar los ingresos fiscales como un peso muerto para la economía.[204]

Un ejemplo regulatorio: normas de eficiencia de combustible para automóviles

Para analizar la alternativa regulatoria, es útil fijarnos en cuestiones como los estándares de eficiencia de combustible que pautan el consumo de combustible por parte de los nuevos automóviles que salen al mercado. Son normas desarrolladas en prácticamente todos los países. De hecho, son reglas razonablemente aceptadas por el electorado y de coste aparentemente menor para la economía nacional.

La norma emitida por el gobierno de Barack Obama en 2012 fue un buen ejemplo de las ventajas y los inconvenientes que tiene este enfoque regulatorio. El gobierno de Estados Unidos estableció estándares que reducían hasta un 40 por ciento las emisiones de CO_2 de los automóviles nuevos que saliesen al mercado entre 2012 y 2025. Desde 2011 hasta 2015, se estima que los costes tecnológicos de adaptarse a estas reglas rondaron los 120.000 millones de dólares.

La implementación es complicada, puesto que los estándares varían según la categoría del vehículo. Los coches pequeños tenían que recorrer 52 millas por cada galón de gasolina (mpg) (4,5 l/100 km), mientras que las camionetas y todoterrenos (SUV) debían llegar a 38 mpg (6,2 l/100 km). Esta disposición creaba un incentivo perverso, en la medida en que favorecía la compra de vehículos SUV. Por tanto, los distintos estándares que estaban en juego socavaban la efectividad del mandato de mayor eficiencia en el consumo de combustible. El efecto era similar a fijar un impuesto a la gasolina que fuese más bajo en los coches más grandes que en los más pequeños.

Además, un análisis económico de la regulación introducida por Obama muestra que la mayoría de los «beneficios» proviene del ahorro de combustible y no de la reducción de emisiones de CO_2 y de la contaminación.[205] Por eso me gusta hablar de «miopía energética» cuando me refiero a quienes proponen este tipo de soluciones. Posteriormente volveremos a este asunto.

El impacto de la solución regulatoria ha sido analizado en un cuidadoso estudio realizado por Resources for the Future (RfF), un instituto de investigación independiente que se enfoca en la economía medioambiental y los recursos. El equipo de investigadores de RfF evaluó la efectividad de los estándares a base de estimar las reducciones de emisiones y el coste para la economía en términos de «peso muerto».[206]

Su investigación parte de la teoría económica estándar, que no incorpora los llamados «fallos del mercado». Este planteamiento doctrinal supone que los mercados funcionan de manera eficiente y que los consumidores entienden todos los costes y ahorros del combustible. Para dicho supuesto, la solución óptima no sería otra que la fijación de un precio al carbono, vía impuestos o vía mercado de derecho de emisiones. Dejando a un lado ambas opciones, los investigadores de RfF estudian también los costes y el ahorro de CO_2 derivado de los diferentes estándares de eficiencia de combustible, de nuevo bajo el supuesto de que no hay fallos del mercado.

El equipo de investigadores descubrió que los estándares regulatorios son mucho más caros que el impuesto al carbono o la imposición de un mercado de derechos de emisiones con un tope a las mismas. Si bien estas

dos vías acarrean un coste de 12 dólares por tonelada reducida de CO_2, la solución alternativa de la regulación implica un desembolso mucho más alto (alrededor de 85 dólares).

La política regulatoria es muy cara por dos razones. Primero, los fabricantes de automóviles incorporan el precio de la gasolina al diseño del automóvil. Después, los diseños se optimizan para que el coste de consumir un galón adicional de gasolina se equilibre con el coste del galón ahorrado con la mejora en la eficiencia del combustible. Además, como la regla de la Administración Obama requería cambios muy grandes en el total de millas por galón, los costes de las mejoras de eficiencia de combustible eran extremadamente elevados. Aun sin fallos de mercado, el coste de reducir las emisiones de CO_2 a través de los estándares regulatorios del gobierno (denominados CAFE por ser el acrónimo en inglés de *Corporate Average Fuel Economy*) supera ampliamente el coste de explorar una solución basada en las dos herramientas de referencia que plantean los anteriores capítulos.

La eficiencia del combustible automotriz es sólo una de las muchas intervenciones reglamentarias que se utilizan para reducir el consumo de energía o las emisiones de CO_2. Pero ¿podemos generalizar estos casos concretos para hablar sobre la efectividad de los programas climáticos volcados en la vía regulatoria?

Este tema ha sido estudiado intensivamente por economistas especializados en el campo de la energía. La tabla 12 proporciona una lista de la eficiencia en función de los costes de diferentes medidas reglamentarias y fiscales. La fuente es, de nuevo, el estudio de RfF.[207] En la tabla vemos dos métricas. La primera es el «efecto», es decir, cuánto contribuiría una regulación determinada a lograr el objetivo de referencia en materia de cambio climático.[208] La segunda es el «coste», expresada como el precio de reducir emisiones por un monto equivalente a una tonelada de CO_2. Esta medición refleja cuál es la eficiencia y cuál es el «peso muerto» para la economía.

TABLA 12 **Efectos y costes de implementar políticas regulatorias y fiscales alternativas, de acuerdo con los estudios de Resources for the Future que estiman la efectividad y la eficiencia de coste de distintas políticas orientadas a reducir las emisiones de CO_2**

Política	**Efecto (% de las emisiones para 2010-2030)**	**Coste ($ por tonelada de CO_2 que deja de emitirse)**
Impuesto a la gasolina	1,8	40
Nuevas reglas de edificación	0,1	51
Nuevas reglas en la automoción	0,6	85
Introducción de gas natural licuado en las industrias del transporte	1,5	85
Descuentos fiscales	0,3	255
Subsidios verdes	0,0	71.075
Impuesto al carbono/Mercado de derechos de emisiones	10,2	12

Nota: Los enfoques indirectos que explora este capítulo tienen resultados mucho peores a cambio de costes mucho mayores.

Como vemos en la última fila, la solución del mercado de derechos de emisiones con un tope al total de emisiones permitidas o la vía del impuesto al carbono tienen el efecto de reducir un 10,2 por ciento las emisiones con un coste de 12 dólares por cada tonelada de CO_2 que deja de emitirse. Los efectos de las medidas climáticas alternativas van del 0 por ciento de los subsidios verdes al 1,8 por ciento del impuesto específico a la gasolina. Su coste económico es también mayor y oscila de 40 a 71.075 dólares por cada tonelada de CO_2 que deja de emitirse a la atmósfera. De nuevo, asumimos que no hay fallos del mercado e incluso así hay una tremenda diferencia que pone de manifiesto la ineficiencia de las medidas alternativas. Parece evidente que los estándares paralelos son costosos y poco efectivos. De hecho, podemos decir que entrañan soluciones tremendamente caras y terriblemente ineficaces.

Cabe señalar que el estudio tiene sesgos que deben ser comentados. Es probable que subestime los costes de la reducción de CO_2, porque asume que las políticas están diseñadas de manera óptima. Si hay exenciones o lagunas en la implementación, entonces los costes serán más altos. Por otro

lado, exagera los costes en la medida en que ignora que los consumidores no siempre toman las decisiones más recomendables desde el punto de vista de la eficiencia económica.

Otras políticas, que no aparecen en la tabla 12, tienen de hecho un efecto perverso. El mejor ejemplo es el subsidio a la producción de etanol orientado al uso en combustibles automotrices. Hasta finales de 2011 Estados Unidos subsidiaba con 45 céntimos de dólar cada galón de etanol mezclado con gasolina. Puede parecer que ésta es una buena idea porque el etanol reemplaza a los combustibles fósiles, pero la situación es más compleja y estudios muy detallados indican que el etanol, desarrollado a partir del maíz, emite casi tanto CO_2 como la gasolina. Esto es así porque el maíz y su producción entrañan el recurso a combustibles fósiles y fertilizantes que producen gases de efecto invernadero y que, en ocasiones, se nos olvidan en nuestros análisis más superficiales. Por lo tanto, más que un medicamento milagroso, el etanol es una pócima envenenada.

Planteamientos no regulatorios

Hay otras ideas sobre cómo abordar el calentamiento global. Algunas de ellas son complementarias a la idea de poner un precio de mercado a las emisiones de CO_2. Por ejemplo, apoyar la I+D en tecnologías de energía baja en carbono reduce los costes de dichas investigaciones y facilita la transición hacia procesos productivos más sostenibles. De estas cuestiones versa el capítulo 23.

Otras alternativas son más dudosas. Un ejemplo es el «mecanismo de desarrollo limpio» incluido en el Protocolo de Kioto y en el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea. Dicho mecanismo permite comerciar derechos de emisiones entre el mundo rico y los países en vías de desarrollo. Por ejemplo, el gobierno chino construyó una central hidroeléctrica que, según las autoridades, va a reemplazar a una central de carbón. A cambio, obtuvo 31.261 toneladas de derechos de emisiones de CO_2 y, posteriormente, las vendió a Países Bajos. El problema es que no hay manera de saber si China habría construido esa central sin el incentivo

de poder vender esos créditos. Sin límites efectivos en las emisiones de CO_2 del país, nunca podemos saber si los esquemas para «comprar» la reducción de emisiones de los países pobres o «compensar» la huella de carbono del mundo rico son fórmulas efectivas para reducir las emisiones.

Otro conjunto de propuestas que gozan de buena prensa pero son cuestionables son las políticas de ayuda vía subvenciones a la «energía verde» o incluso los «empleos verdes». El espíritu de estas propuestas es que ciertas actividades bajas en carbono deben ser alentadas y apoyadas con dinero público. Sin embargo, que algo se etiquete como «verde» no implica que la cobertura otorgada a dichas actividades sea eficiente. Pensemos, por ejemplo, en el caso del etanol descrito anteriormente.

Los subsidios plantean un reto complejo, puesto que sí que es cierto que desalientan las actividades intensivas en carbono y, en paralelo, hacen que otros ámbitos productivos menos contaminantes sean más atractivos. El problema, más bien, es identificar las actividades elegibles para las subvenciones correspondientes. ¿Por qué subvencionar los coches híbridos o eléctricos (como ya hacen muchos países) y no el ciclismo? Entonces, ¿la respuesta es subsidiar todas y cada una de las actividades bajas en carbono? No es posible. Hay tantas actividades bajas en carbono que resultaría astronómicamente caro hacer algo así.

Otro problema con esta solución es que los subsidios son políticas muy desiguales en su impacto. Un estudio reciente realizado por la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos analizó el impacto de varios subsidios en las emisiones de GEI del país norteamericano y encontró una gran diferencia en su efectividad, medida en términos de CO_2 eliminado por cada dólar de subsidio. Ninguno de los subsidios fue eficiente, algunos fueron terriblemente ineficientes y otros, como el subsidio al etanol, fueron directamente perversos y, en realidad, aumentaron las emisiones de GEI. El efecto neto de todos los subsidios tomados en conjunto ¡fue cero! (ver tabla 12).[209] Por tanto, al final vemos que es mucho más efectivo penalizar las emisiones de carbono que subsidiar todo lo demás.

Tres puntos emergen, pues, del análisis de respuestas alternativas al precio del carbono. En primer lugar, alternativas como la regulación son generalmente más caras que una política basada en precios. En segundo

lugar, es poco probable que incluso un conjunto sólido de regulaciones logre consolidar objetivos ambiciosos como los establecidos por la Cumbre de Copenhague (pueden contribuir en algunos sectores, pero son insuficientes a la hora de hacer una contribución sustancial). En tercer lugar, la selección de la cartera de regulaciones es un problema difícil, porque algunas opciones son extremadamente caras o incluso contraproducentes, como el uso de etanol a base de maíz. Por lo tanto, es poco probable que el enfoque regulatorio por sí solo aborde de manera efectiva el problema del cambio climático y, desde luego, si lo hiciese no sería de manera eficiente ni de modo comparable a las dos alternativas defendidas en estas páginas, cuya aplicación se antoja mucho más recomendable.

Este análisis sugiere que elegir el mejor enfoque para lidiar con el cambio climático es realmente sencillo desde una perspectiva económica. Los distintos gobiernos del mundo deben avanzar rápidamente hacia la fijación de un precio alto y creciente a las emisiones de CO_2 y otros GEI. Ese precio tendrá que armonizarse para que sea prácticamente equivalente en todos los países del mundo. Las políticas climáticas se pueden ejecutar con impuestos al carbono o con límites de emisiones que luego se pueden comerciar en un mercado ad hoc. Hay otros mecanismos, pero ninguno se acerca en eficiencia ni en coste. Por tanto, estas políticas son la mejor respuesta con la que contamos y, si se diseña bien, puede proporcionar ingresos fiscales que ayuden a bajar otros impuestos o a financiar servicios públicos, todo sin golpear la eficiencia económica. Estamos, pues, ante uno de esos pocos casos en los que un problema complejo puede solucionarse con medidas relativamente sencillas.

La «miopía energética»

En párrafos anteriores se concluye que los enfoques regulatorios orientados a reducir las emisiones de CO_2 son ineficientes y, a veces, contraproducentes. Si eso fuese todo, podríamos cancelar las regulaciones sin más y ganar votos gracias a dicha reducción de las normas coercitivas. Pero la realidad es algo más compleja.

Los análisis de los mercados energéticos encuentran muchas fallas e impedimentos en el camino hacia la eficiencia. Por un lado, involucran factores institucionales, como el hecho de que las personas que alquilan sus casas tengan pocos incentivos para hacer inversiones de ahorro energético que sólo rinden frutos a largo plazo. Otro problema similar se ve en el uso de energía en las residencias universitarias, donde residen millones de jóvenes en todo el mundo.

Además de esto, uno de los fenómenos más importantes y desconcertantes es lo que denomino «miopía energética». Con este término denomino el error en el que incurren muchas personas al entender que invertir en eficiencia energética no compensa lo suficiente. Si pudiésemos cambiar esa percepción con los datos en la mano, la regulación desempeñaría un papel algo más relevante y constructivo.[210]

Supongamos que voy al concesionario de Volkswagen en busca de un coche nuevo y el vendedor me muestra dos modelos, uno con motor de gasolina y otro con motor diésel. En Estados Unidos, un modelo medio de gasolina ofrece un rendimiento de 31 millas por galón (7,5 l/100 km), mientras que uno de diésel se mueve en las 42 mpg (unos 5,5 l/100 km). Sin embargo, en nuestro ejemplo plantearemos que la versión diésel cuesta 2.000 dólares más.

Si mi reacción es similar a la de la mayoría de las personas, elegiré el modelo de gasolina. Después de todo, todos tenemos gastos corrientes que pagar, deudas que saldar, tarjetas de crédito con las que cumplir... y, a partir de cierta edad, hay matrículas universitarias que pagar, vacaciones familiares que financiar... De modo que 2.000 dólares más son un esfuerzo notable y, en consecuencia, podemos ver más lógica la compra del coche de gasolina.

Pero supongamos que el vendedor de Volkswagen nos explica los costes del ciclo de vida de ambos modelos. En mi caso, asumiremos unos desplazamientos similares a los de cualquier familia estadounidense. Bajo este supuesto, la versión de gasolina consume 100 galones más de combustible ¡cada año! A 4 dólares el galón, esto supone 400 dólares de gasto adicional en repostaje. Por tanto, en diez años de vida útil, gastamos

4.000 dólares más en la gasolinera a cambio de 2.000 dólares de ahorro en el precio de compra. De repente, la decisión sensata ya no es la que pensábamos antes de echar cuentas.[211]

Sin embargo, la evidencia nos dice que tendemos a preferir el ahorro inicial, aunque implique un mayor desembolso a largo plazo. Según los estudios económicos, la mayoría de los consumidores optaría por comprar el coche de gasolina aun habiendo sido informada del ahorro facilitado por el diésel. De hecho, si analizamos las ventas de modelos comparables para Estados Unidos vemos que los motores de gasolina venden dos veces más que los de diésel.[212]

Cuando invertimos en eficiencia tenemos que considerar todo esto. Los estudios indican que podríamos ahorrar entre el 10 y el 40 por ciento de nuestro consumo energético si apostásemos por tecnologías más sostenibles. El coste neto de asumir dicha reconversión sería nulo, porque la eficiencia genera ahorros que se van haciendo evidentes con el largo plazo. Por eso no podemos enfrentar estos debates con «miopía energética», sino con gafas de largo alcance.

He hablado de estos temas en muchas de mis clases y he leído numerosos informes sobre este tema, pero reconozco que esa miopía también me ha afectado en ocasiones. Por ejemplo, hice una auditoría energética en mi casa hace unos tres años y el resultado de las indagaciones de los expertos fue una lista de sugerencias que podía ahorrarme cientos de dólares de gastos en calefacción y refrigeración a cambio de una modesta inversión inicial. Sin embargo, esa auditoría acabó en un cajón...

¿Cuáles son las razones que explican esa miopía y, más concretamente, la miopía energética? Hay quienes dicen que las personas toman decisiones con poca información: no saben si sus hogares están bien o mal aislados, si consumen un exceso de energía... Además, puede que les resulte complicado calcular el valor actual de un ahorro energético de largo plazo.

Sin embargo, una razón muy poderosa que no podemos ignorar es que muchas personas carecen de efectivo suficiente para enfrentar sus gastos más inmediatos. Al fin y al cabo, si muchos hogares soportan un interés anual del 29,99 por ciento en los gastos de la tarjeta de crédito, es por algo. Simple y llanamente, les faltan recursos para asumir esos gastos sin

endeudarse, de modo que hacer inversiones energéticas de largo plazo parece complicado. Y, como ya hemos dicho, a esa situación hay que sumarle que muchas personas subestiman sistemáticamente el futuro, de modo que su tasa de descuento personal es mucho más alta que la tasa de descuento del dinero.

Debo enfatizar que los errores de decisión de este tipo no se limitan a las compras de automóviles o al aislamiento de una casa. Desde el punto de vista económico, las personas toman decisiones cuestionables en muchos otros ámbitos, que van desde el cuidado de la salud a las finanzas. Sobre este último punto, pensemos en cuánta gente pierde mucho dinero e incluso su casa por no leer bien el contrato hipotecario que ha suscrito con el banco. En los negocios vemos también lo difícil que es acertar, puesto que la mitad de las pequeñas empresas fracasan en el primer año. De modo que los errores en las decisiones económicas son algo común en el comportamiento humano que, de hecho, genera cada vez más interés entre los estudiosos de la psicología y la economía del comportamiento.[213]

Al final, el síndrome de la miopía energética es una característica realista del comportamiento humano que debe incorporarse en nuestro análisis. Esa miopía al ponderar el coste energético aporta una razón poderosa para potenciar el desarrollo de herramientas regulatorias en el ámbito de la política climática.

Supongamos que, en efecto, tendemos a subestimar sistemáticamente los costes futuros de la energía. Si exigimos a los fabricantes que mejoren la eficiencia energética, ahorramos energía, reducimos las emisiones de carbono y, al mismo tiempo, proporcionamos argumentos para que los consumidores hagan una buena inversión. Esto es similar a requerir que las compañías automotrices instalen *airbags* u otras condiciones que regulan la posibilidad de sacar un coche al mercado.

Dado que las personas no siempre se comportan siguiendo un cálculo económico que defienda su propio interés a largo plazo, el uso cuidadoso de los mandatos regulatorios puede ayudarnos a ahorrar dinero y emisiones de CO_2, siempre que las reglas se diseñen de forma inteligente y efectiva.

¿Cómo enfocaríamos las regulaciones de energía para ayudar a corregir la «miopía»? Es difícil dar una respuesta clara, porque no sabemos exactamente por qué las personas toman las decisiones que toman, pero el enfoque más lógico es suponer que, a la luz de lo que apuntan las investigaciones económicas que se ocupan de esta materia, lo más habitual es que las personas realicen un exceso de descuento en su mirada al ahorro energético del futuro. Dicho de otro modo: aplicamos implícitamente una tasa de descuento muy alta para los ahorros futuros en consumo energético. En el caso anterior, hablamos de un desfase de 4.000 dólares.

Supongamos que, sobre el papel, a la hora de elegir entre dos modelos automovilísticos, aplicamos una tasa de descuento anual del 20 por ciento referida al ahorro futuro en el consumo de combustible. Esto nos dice que el ahorro será de 1.837 dólares y, por tanto, probablemente compraremos el coche de gasolina.

Un especialista en finanzas podría decir que nos estamos comportando de manera miope y que sería mejor invertir en el automóvil que funciona con diésel. Pero seguro que hay razones para optar por la gasolina: queremos ahorrar para posibles emergencias, tememos que los costes del combustible suban en el futuro, pensamos que con ese dinero podemos comprar deuda pública, nos da miedo un posible accidente que reduzca la vida útil del coche, desconfiamos de la durabilidad del motor para un horizonte de más de 4-5 años, queremos vender el coche dentro de un período relativamente breve de tiempo para no pasar demasiado tiempo conduciendo un mismo modelo... Puede que éstas no sean razones sólidas para el análisis económico, pero pueden ser suficientes para inclinar a las personas hacia inversiones con bajos costes iniciales y mayores costes futuros que, en parte, quedan diferidos.

En este contexto, revisemos la eficiencia de las diferentes regulaciones bajo el supuesto de que los compradores son «miopes» y subestiman el ahorro de energía que se puede producir en el futuro. Este tipo de cálculo se referiría principalmente a las compras de las familias, no tanto de las empresas, puesto que las sociedades mercantiles suelen ser más consistentes y metódicas en sus cálculos.

El informe que aparece reflejado en la tabla 12 incluye también un estudio del coste de regulaciones aplicadas cuando los consumidores aplican una tasa de descuento elevado. Esto supone recoger los fallos del mercado que, en los supuestos anteriores, no se contabilizaban. El estudio parte de que la tasa de descuento es del 20 por ciento, un nivel elevado.

TABLA 13 **Costes y efectos de políticas alternativas regulatorias, incorporando el efecto de la «miopía energética»**

Política implementada	**Coste ($ por tonelada de CO_2 que se deja de emitir)**	
	Tasa de descuento del 5%	**Tasa de descuento del 20% (elevada)**
Impuesto a la gasolina	38	6
Nuevas reglas de edificación	51	–15
Nuevas reglas en la automoción	85	–22
Introducción de gas natural licuado en las industrias del transporte	85	69

Nota: La tabla muestra el coste de reducir las emisiones de CO_2bajo supuestos de descuento que incluyen un 5% (reducido) y un 20% (elevado).

La tabla 13 compara los costes de las reducciones de emisiones de CO_2 bajo los dos supuestos: el que no incluye los fallos del mercado y el que sí los incluye y, de hecho, los sitúa en niveles significativos.[214] En el caso de los estándares de eficiencia de los automóviles, si los consumidores descuentan el ahorro de combustible futuro asumiendo una tasa anual del 20 por ciento, entonces la cifra cambia de signo y, en realidad, el coste pasa a ser negativo, de –22 dólares por tonelada de CO_2 eliminado. Dicho de otro modo: si asumimos que los consumidores sobredimensionan los ahorros futuros, la regulación puede reducir las emisiones de CO_2 y ahorrar dinero.

El hallazgo fue similar para los códigos de construcción, donde el coste de la regulación en el contexto del descuento elevado es de –15 dólares por tonelada, muy lejos de los 51 dólares que arroja un cálculo con una tasa del 5 por ciento. En la tabla 13 vemos otros casos con costes más bajos pero positivos, incluso incorporando la llamada «miopía energética».

La cuestión de la racionalidad del consumidor es, de hecho, un aspecto importante de la política regulatoria. Si las decisiones están contaminadas por la miopía a la hora de estimar los costes de energía, entonces puede haber muchas opciones de coste negativo que contribuyan a reducir el uso de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Repasando los enfoques alternativos

En este capítulo hemos examinado enfoques alternativos orientados a elevar los precios del carbono. Son herramientas que también buscan reducir el CO_2 y otros GEI. Para comenzar con el lado positivo, está claro que la economía está llena de decisiones ineficientes en el uso de energía. El síndrome de la miopía a la hora de valorar el coste de la energía parece permeable entre los consumidores, de modo que las regulaciones cuidadosamente diseñadas pueden reducir las emisiones de CO_2 hasta conseguir dejarlas en un coste bajo o incluso nulo.

Además, las regulaciones eficientes pueden complementar y reforzar las políticas de precios del carbono. Incluso si los países implementan políticas que eleven los precios del carbono utilizando impuestos o mercados de derechos con topes a las emisiones máximas, siempre habrá incertidumbres políticas. En este sentido, los límites de las emisiones regulatorias garantizarán que las empresas continúan avanzando en la dirección esperada, que no es ni más ni menos que una economía baja en carbono.

Pero las deficiencias de confiar principalmente en las regulaciones son notablemente graves. El problema primero es que llevar a cabo la mayoría de las reducciones de emisiones por regulación implica diseñar miles de tecnologías y supervisar millones de decisiones. Los gobiernos estarían continuamente diciéndonos «haz esto, pero no hagas esto otro». La economía se vería muy intervenida y, como es lógico, los políticos no tendrían suficiente información para redactar regulaciones que maximicen la eficiencia. Además, los votantes no tolerarían tanta intrusión en sus vidas y en la economía de mercado.

Esto lleva al segundo punto crítico: por sí solas, las políticas regulatorias no pueden resolver el problema del calentamiento global. Es imposible diseñar regulaciones para todos los sectores, productos energéticos y servicios. Los gobiernos pueden redactar reglamentos o normas como las referidas al combustible de los automóviles, pero no pueden ir mucho más allá sin estrangular a un sector.

En tercer lugar, las regulaciones pueden ser muy costosas o incluso contraproducentes si se diseñan de forma poco inteligente. El ejemplo de los subsidios al etanol en Estados Unidos es un recordatorio de que políticas aparentemente sensatas pueden terminar arrojando resultados flojos e incluso contraproducentes.

Dado el historial desfavorable del enfoque regulatorio, podríamos preguntarnos por qué los gobiernos emplean universalmente herramientas regulatorias cuando se ha demostrado que son tan ineficientes. Los estudios han probado una y otra vez que los impuestos a la gasolina son más eficientes que las regulaciones a la hora de reducir el consumo de dicho combustible y reducir las emisiones de CO_2 que produce el transporte. Sin embargo, la mayoría de los países prefiere imponer estándares de eficiencia de combustible en lugar de introducir impuestos. Estados Unidos ha ajustado sus estándares pero, al mismo tiempo, ha permitido que el impuesto a la gasolina vaya bajando su peso, como demuestra un estudio de su incidencia sobre el precio (ajustado a la inflación).

Hay muchas razones que explican la inclinación política por la solución regulatoria. La primera es que los costes de las regulaciones permanecen relativamente ocultos para los consumidores. En el ejemplo de la gasolina, los estándares de eficiencia de combustible elevan el precio de los automóviles sin dejar huellas patentes de la intervención política en dicho proceso, mientras que los impuestos son más visibles y, en el ámbito de los combustibles, los aumentos de tasas llegan incluso a provocar disturbios en algunos países. Otro motivo por el que los políticos prefieren el enfoque regulatorio es que las empresas suelen conseguir cambios en las normas que juegan a su favor. De hecho, se habla mucho de la «captura» del regulador por parte de las empresas, que logran modificar las reglas del juego a base de promover sus intereses privados mediante estrategias de persuasión y

cabildeo. En este sentido, los impuestos son algo más transparente y difícil de esquivar. Así, en los mercados de derechos de emisiones vemos, por ejemplo, que las empresas más contaminantes reciben ciertos permisos de forma gratuita o con precios reducidos, de modo que se consolidan preferencias que no existirían en el esquema del impuesto al carbono.

Los defensores de los precios al carbono no niegan que hay oposición a sus propuestas. Sin embargo, afirman que la humanidad se enfrenta a un peligro significativo: el calentamiento global. Por tanto, afirman que hacen falta nuevas herramientas para enfrentar esta amenaza de manera efectiva. No es un discurso totalmente atractivo, pero al menos es realista y busca soluciones concretas que permitan atajar el deterioro del medio ambiente.

Por mucho que resulte impopular admitirlo, lo cierto es que, a menos que implementemos una política efectiva de fijación de precios del carbono, no lograremos frenar el cambio climático. Puede que lleve un tiempo lograr que todas las personas se sientan a gusto con los ajustes que esto supone. Además, todos tendemos a sobreestimar el coste de los impuestos porque pasamos por alto otras cuestiones, como el hecho de que los ingresos pueden ayudar a reducir otros tributos.

De manera que, mirando al futuro, una de las claves para descartar soluciones ineficientes y costosas y conseguir avances reales es explicar la importancia de acudir a enfoques basados en el mercado, como la fijación de precios al carbono mediante los dos mecanismos planteados en este libro. Educar a la población en la efectividad de dichas medidas es tan importante como lograr que la ciudadanía entienda la ciencia que explica el cambio climático.

23

Nuevas tecnologías para una economía baja en carbono

En los capítulos anteriores hemos descrito políticas económicas que proporcionan incentivos para que empresas e individuos aceleren la transición hacia una economía baja en carbono. En la discusión presentada se han descrito de manera general las tecnologías exactas que pueden impulsar esa transición. Sin embargo, es importante aportar algo más de detalle. ¿Cómo podemos entender mejor el desafío de descarbonizar la economía?

La tecnología tiene mucho que ver con este reto. La economía moderna está impulsada en gran medida por el uso de combustibles fósiles como el petróleo y el carbón. ¿Cómo reemplazaremos esas fuentes de crecimiento? ¿Cómo alimentaremos nuestros coches, nuestros sistemas de calefacción, nuestras industrias, nuestros hogares...? ¿Qué papel desempeñan en todo esto energías de origen nuclear, eólico o solar? He ahí las preguntas que deben responder ingenieros y científicos de todo el mundo.

Pero desde el punto de vista económico hay dudas adicionales. ¿Cómo conseguiremos que las empresas renueven sus procesos y descarbonicen su operativa? ¿Cómo hacemos para que los consumidores compren y utilicen estas nuevas tecnologías? No basta con concebir un calentador que opere sin necesidad de emitir CO_2: también hace falta desarrollar ese concepto, convertirlo en un producto, llevarlo al mercado y tener éxito.

Las empresas invierten miles de millones de dólares en nuevas tecnologías. Por eso es importante que aparezcan soluciones más sostenibles que sean rentables y que animen la reinversión corporativa en este tipo de soluciones. Al final, la clave radica en la aceptación que

consiguen estas novedades en el mercado. Pero ¿qué mecanismos funcionan mejor para promover la innovación, el desarrollo y la adopción de tecnologías bajas en carbono? De eso versa también este capítulo.

El último refugio

Cuando el Protocolo de Kioto expiró, a finales de 2012, muchos analistas se mostraron pesimistas. La revista científica británica *Nature* editó un especial titulado «The Heat is On» que incluía una «guía de supervivencia para el mundo post-Kioto». En su introducción, la publicación afirmaba que el mundo «podrá volver a emitir gases de efecto invernadero sin control alguno».[215]

Hoy en día, las cumbres sobre asuntos climáticos ponen de manifiesto que el fracaso de Kioto ha convencido a muchos expertos de que la clave para la descarbonización pasa por fomentar la eficiencia energética y las nuevas tecnologías. En Estados Unidos, la Administración Obama desarrolló una agenda regulatoria diseñada para fomentar estas alternativas. Pero hay quienes ni siquiera compran ese discurso y sólo hablan de adaptarnos al calentamiento mediante estrategias específicas que logren contener el impacto del aumento de las temperaturas, la mayor frecuencia de las sequías o el mayor nivel de los mares.

Debemos evitar los extremos. Ni el optimismo excesivo que rodeó la firma del Protocolo de Kioto era adecuado, ni tampoco es recomendable el pesimismo absoluto que despertó su fin. La mayor parte de este libro está dedicado a impulsar regímenes que mejoren la experiencia de Kioto, pero, por un momento, supongamos que los menos optimistas tienen razón y que los planes de reducción de emisiones no serán efectivos en el futuro.

Partiendo de este supuesto, ya hemos visto que la alternativa regulatoria es ineficiente y no logra aminorar el aumento de las temperaturas. Por tanto, ¿nos queda alguna esperanza? Probablemente la única respuesta válida pase por un cambio revolucionario en las tecnologías energéticas. Esos cambios deberían hacer que las actividades con poco carbono o incluso con carbono negativo sean tan baratas que puedan reemplazar el uso de combustibles fósiles de forma relativamente sencilla. Se trata, pues, de conseguir

descensos acusados en los costes de la energía renovable o de descubrir y desarrollar nuevas tecnologías que actualmente no están aplicándose de forma generalizada.

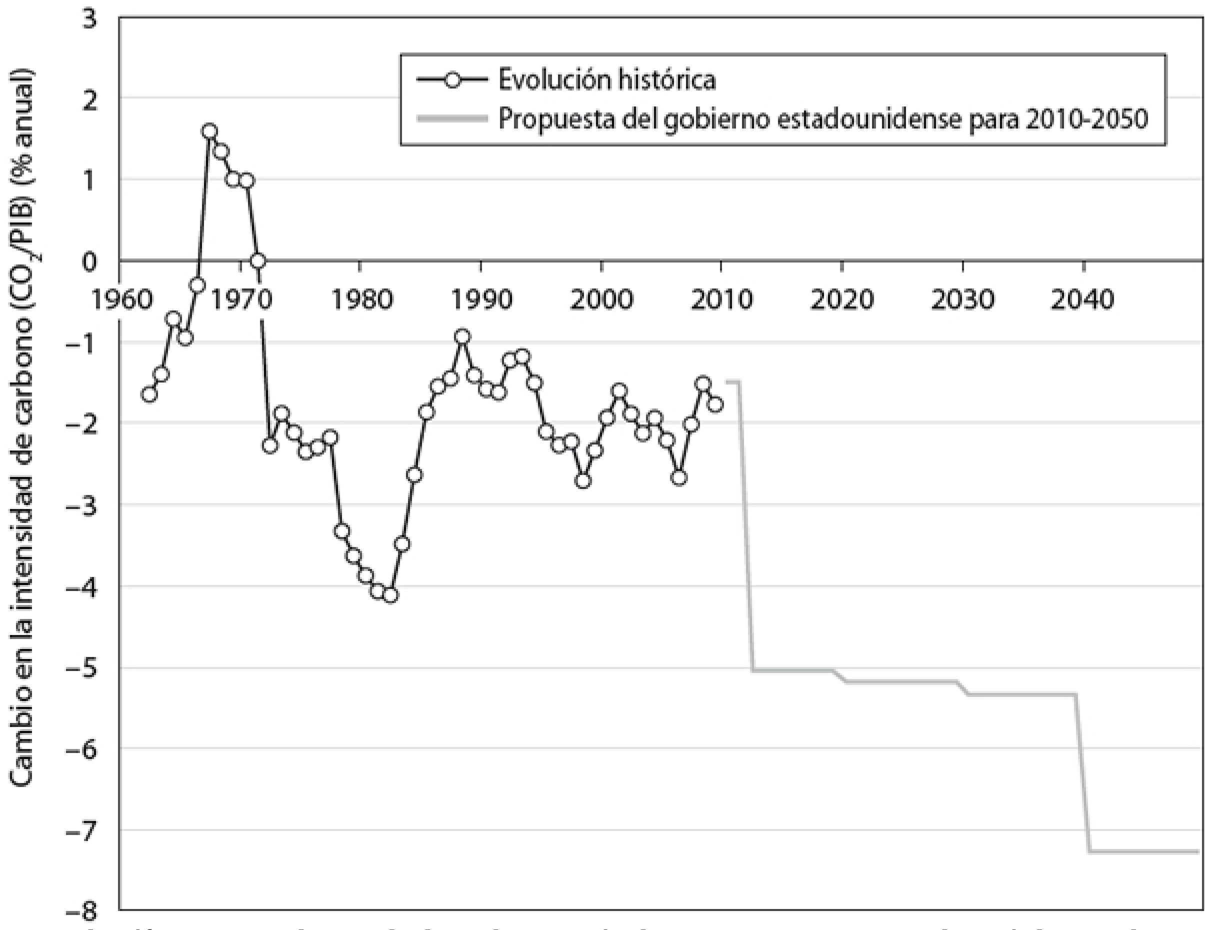
Las probabilidades de que vivamos un desarrollo tan favorable son reducidas, pero la historia tecnológica está llena de sorpresas. Por tanto, si somos pesimistas acerca de otros caminos orientados a conseguir un clima más estabilizado, entonces deberíamos utilizar todos los medios disponibles para hacer que las «sorpresas» tecnológicas positivas sean más probables y tengan lugar lo antes posible. En este capítulo discutimos los desafíos y las opciones que entraña esta estrategia.

El desafío de una economía baja en carbono

Hay pocas posibilidades de que la tecnología pueda avanzar tanto sin apoyo gubernamental, sobre todo porque el reto requiere una aceleración de los procesos de cambio productivo. Tomemos como ejemplo la política de Estados Unidos establecida por la Administración Obama. Utilizando los niveles de 2005 como base, su propuesta consistía en reducir las emisiones de CO_2 y otros GEI, de modo que en 2020 deberían ser un 17 por ciento más bajas y en 2050 tenían que moverse un 83 por ciento por debajo del umbral escogido por el Ejecutivo. El esbozo general de esta política obtuvo el respaldo de varios grupos de asesores de alto nivel.

Cumplir estos objetivos sólo a través de reducciones requeriría cambios importantes en el comportamiento y la cadena productiva de la economía estadounidense. Para entenderlo mejor, podemos medir la «intensidad de carbono», concepto referido a la relación entre las emisiones de CO_2 y la producción económica total.

FIGURA 37 **Descarbonización histórica y proyectada en la economía de Estados Unidos**



Nota: El gráfico muestra la tasa de descarbonización de 1960 a 2010 y recoge después los niveles que serían necesarios para alcanzar los objetivos fijados por el gobierno de Barack Obama, que planteó dejar las emisiones en 2050 un 83 por ciento por debajo de los niveles de 2005.

La figura 37 muestra a la izquierda la tendencia histórica de Estados Unidos, que apunta hacia una creciente descarbonización.[216] En los últimos años, la intensidad del carbono en Estados Unidos ha bajado una tasa cercana al 2 por ciento anual. A partir de 2010, el gráfico incluye una línea que refleja la tasa de descarbonización requerida para cumplir con los objetivos decretados por el gobierno Obama. Para 2010-2050, el ritmo de descarbonización debería triplicarse hasta llegar al 6 por ciento anual.[217] Tal cambio sería enorme en términos históricos. Más allá de la electrónica, ningún sector ha conseguido tasas de crecimiento a largo plazo de la productividad que se acerquen a dicho porcentaje.

Podemos realizar este mismo cálculo para el mundo en su conjunto. Para alcanzar el objetivo de limitar a 2 grados centígrados el aumento de las temperaturas globales, la tasa de descarbonización debería ser del 4 por

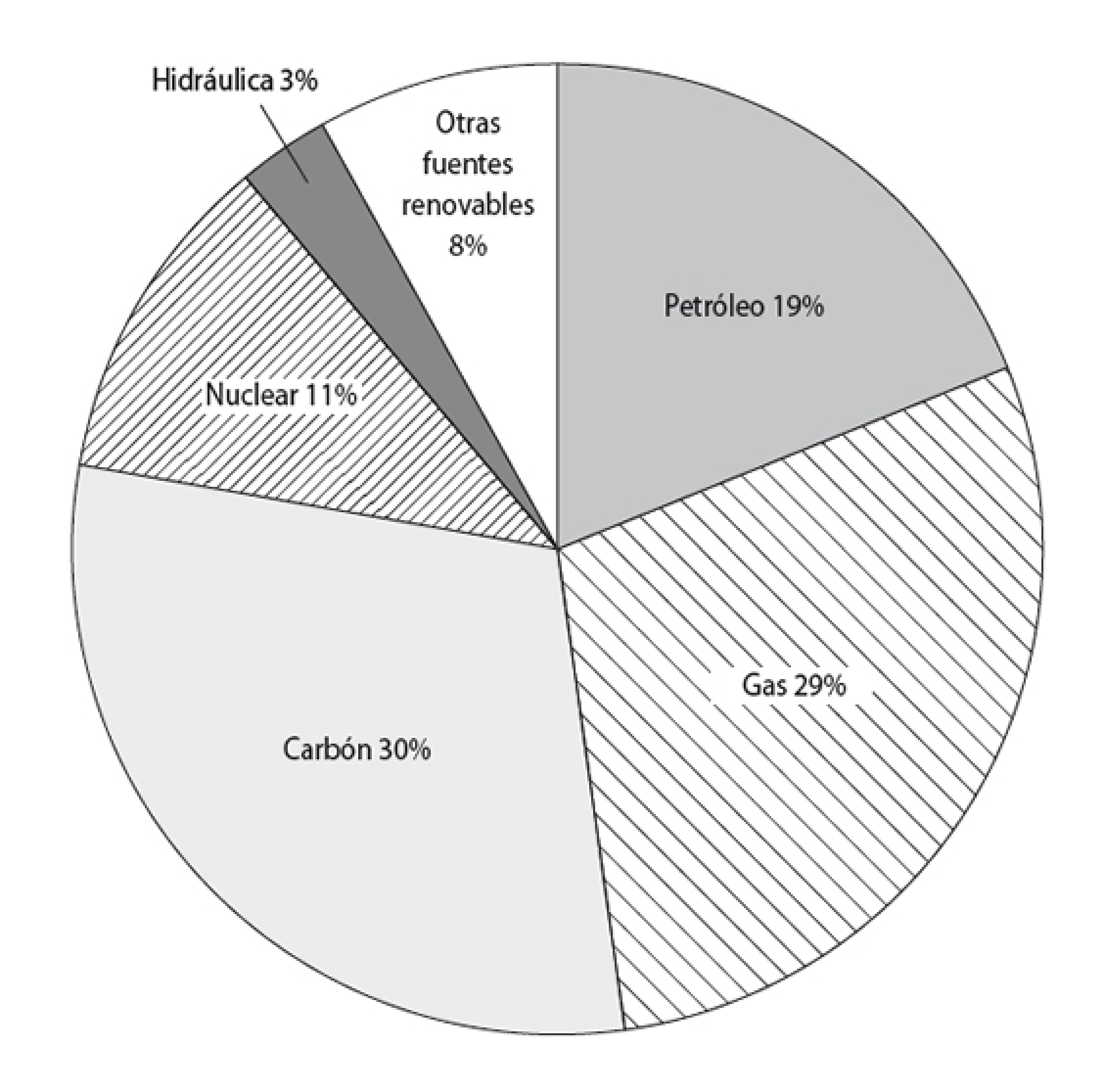
ciento anual entre 2010 y 2050.[218] El 4 por ciento es menos ambicioso que el 6 por ciento de Estados Unidos porque la caída de emisiones que fijaba el gobierno Obama era más agresiva que la meta global de limitar el calentamiento a los 2 grados centígrados de incremento respecto a las temperaturas preindustriales. En cualquier caso, un 4 por ciento sigue siendo un porcentaje elevado y difícil de alcanzar.

En resumen: lograr las reducciones de emisiones por la vía tecnológica requiere innovaciones más profundas y veloces que las que hemos conocido hasta ahora en cualquier industria. Este hecho tecnológico subraya el enorme desafío que plantea el cambio climático.

Tecnologías prometedoras

Para acelerar la descarbonización tenemos que conocer las fuentes de energía existentes. La figura 38 muestra cómo obtiene su energía Estados Unidos. Con cifras de 2009, vemos que el 80 por ciento proviene de combustibles fósiles.[219] Esto implica que el grueso de la producción debe ser modificada para movernos a un mundo bajo en carbono.

FIGURA 38 **Fuentes de energía empleadas en Estados Unidos, 2009**



El camino tecnológico a un mundo bajo en carbono

Dada la enorme complejidad de asegurar la transición a una economía baja en carbono, ¿qué fuentes de energía pueden ayudarnos a lograr un resultado satisfactorio? Investigadores como Nebojsa Nakicenovic, del Instituto Internacional de Análisis Aplicados de Sistemas (IIASA) y la Universidad Técnica de Viena, han hecho importantes contribuciones a la hora de mejorar nuestra comprensión de los procesos subyacentes de innovación que se dan en los sistemas de energía. Éste es un campo de investigación complejo y pujante que merece la pena comentar, aunque sea sólo superficialmente, para entender mejor todo lo que supone el reto de la transición.[220]

Empecemos estudiando los costes actuales y futuros de los diferentes tipos de generación de electricidad, con datos para Estados Unidos. Estas cifras vienen recogidas en la tabla 14.[221] En ella se incluye información de costes, fechas estimadas de disponibilidad a gran escala, vencimientos tecnológicos... Para las plantas existentes se incluye sólo el coste de generación, puesto que el capital de desarrollo ya fue desembolsado.

Los costes variables son bajos, por lo general se sitúan por debajo de 5 céntimos de dólar por kWh. Mientras estas plantas estén operativas y mientras no existan cargos por las emisiones de CO_2, seguirán siendo rentables durante muchos años. Para las nuevas plantas, el gas natural es la más económica de las tecnologías maduras. Sin embargo, el carbón y la energía eólica convencional cuestan aproximadamente un 50 por ciento más que las nuevas plantas de gas natural.

Mirando al futuro, la pregunta central que debemos hacernos tiene que ver con la posibilidad de desarrollar una electricidad de coste económico pero también baja en carbono. El viento es la única tecnología madura baja en carbono, pero sus rendimientos son un 50 por ciento más caros que los de las tecnologías comparables que también están en funcionamiento. Además, la energía eólica tiene un alcance limitado en países como Estados Unidos.

Hay otras tecnologías prometedoras de cara a lograr implementaciones a gran escala. De menos a más caras, incluimos en esta lista el gas natural avanzado (con CCS, es decir, captura y almacenamiento de carbono), energía nuclear avanzada o carbón avanzado (también con CCS). De nuevo, el problema es el coste: son soluciones entre un 50 y un 100 por ciento más caras que las tecnologías más económicas existentes hoy. Además, su despliegue a gran escala aún requiere tiempo.

TABLA 14 **Estimación de costes de la generación eléctrica. La tabla incluye datos de la Administración de Información de la Energía de Estados Unidos**

Fuente	Capital y costes fijos	Costes variables	Total	Fecha de disponibilidad de la energía	Estado de la	Tasa de emisiones (toneladas CO_2/mWh)
Gas natural (ciclo combinado)	2,05	4,56	6,61	Inmediata	Madura	0,60
Carbón convencional	7,05	2,43	9,48	Inmediata	Madura	1,06
Eólica	9,70	0,00	9,70	Inmediata	Madura	0,00
Geotérmica	9,22	0,95	10,17	2020	En desarrollo	0,00
Carbón moderno	8,41	2,57	10,98	2020	En desarrollo	0,76
Biomasa	7,02	4,23	11,25	2020	En desarrollo	0,00
Solar fotovoltaica	21,07	0,00	21,07	Inmediata	En desarrollo	0,00
Solar térmica	31,18	0,00	31,18	Inmediata	En desarrollo	0,00
Gas natural avanzado (CCS)	3,97	4,96	8,93	2030	Nueva	0,06
Nuclear avanzada	10,22	1,17	11,39	2025	Nueva	0,00
Carbón avanzado (CCS)	10,31	3,31	13,62	2030	Nueva	0,11

Nota: Nótese que las fuentes renovables o bajas en emisiones son mucho más caras.

Vale la pena estudiar detenidamente la tabla 14, puesto que muestra las brechas que deben reducirse para llevar al mercado tecnologías bajas en carbono. El *gap* puede cerrarse con mejoras tecnológicas o mediante la fijación de precios del carbono. En lo tocante a la innovación, ya el capítulo 14 planteaba las dificultades involucradas en el despliegue a gran escala de procesos de CCS.

El otro gran recurso de energía no fósil que puede desplegarse a gran escala y está sobradamente probado es la energía nuclear. El problema es que, aunque la nuclear se puede utilizar para generar electricidad, no es viable emplearla en otras aplicaciones como, por ejemplo, el suministro energético del transporte aéreo. Por otro lado, la nuclear enfrenta otros dos obstáculos. Por un lado, es más cara que los combustibles fósiles, como

vemos en la tabla 14. Por otro, hacen falta muchas plantas nucleares para reemplazar la generación de energía mediante combustibles fósiles. Y a todo esto hay que sumarle la preocupación generalizada que despierta esta tecnología en lo tocante a la seguridad. Por tanto, la expansión de la nuclear se antoja complicada, sobre todo si tenemos en cuenta que grandes potencias como Alemania han adoptado incluso fechas de extinción para este sector.

Dadas las restricciones al uso de la energía nuclear, la transición a un futuro bajo en carbono requerirá tecnologías nuevas y no probadas o fórmulas existentes pero costosas. Las opciones más atractivas son, a priori, las fuentes de energía renovable, caso de la solar, la eólica o la geotérmica. En la mayoría de los países, estas fuentes son mucho más caras que el empleo de combustibles fósiles, de modo que si ha crecido su uso ha sido, principalmente, debido a importantes subsidios. Sin mejoras significativas en sus precios, reemplazar los combustibles fósiles por energías renovables supondría un gasto enorme. Sólo en Estados Unidos, el desembolso «extra» ascendería a miles de millones de dólares anuales.

Para entender mejor el proceso de transición a una economía baja en carbono conviene examinar las proyecciones de los modelos energéticos. Tomemos como ejemplo un análisis de los requisitos tecnológicos que ayudarían a estabilizar las emisiones en las próximas cuatro décadas. Dos equipos de expertos estadounidenses, el Instituto de Investigación del Cambio Global (JGCRI) y el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL), han estudiado qué cambios tecnológicos debe asumir el sector eléctrico de Estados Unidos para lograr el objetivo de estabilización de la temperatura al final del siglo XXI. Los dos modelos empleados están en la vanguardia de la investigación climática. Uno de ellos, el GCAM, es un modelo global que detalla las tecnologías energéticas empleadas en cada región. El segundo, denominado ReDEDS, es un modelo centrado en el sector eléctrico estadounidense y también diferencia según el mix energético de sus distintos territorios.[222]

Los modelos se calibraron para estimar la misma generación de electricidad durante el período analizado, 2010-2050. A continuación, cada modelo calculó la combinación de tecnologías que ayudaría a cumplir los

objetivos planteados con el menor coste posible. Aunque los modelos tienen una ingeniería, un enfoque, una estructura y un equipo humano distintos, sus resultados fueron significativamente cercanos:

- Las tecnologías más utilizadas hoy para generar electricidad (el carbón convencional y el gas natural) se deberían extinguir en 2050.
- La energía nuclear debería crecer modestamente, para mantener su cuota actual sobre el total de energía producida.
- La tecnología de carbón y gas avanzado (con CCS) debe desarrollarse significativamente, hasta alcanzar la mitad del mercado en 2050.
- La energía eólica deberá crecer hasta generar aproximadamente la cuarta parte del mercado en 2050.
- La generación renovable de energía (fotovoltaica, solar térmica, geotérmica...) sumará otra cuarta parte del mercado.
- La principal diferencia entre los dos modelos radica en las perspectivas para el carbón avanzado (con CCS) y la eólica, puesto que aparecen distintas estimaciones de coste y disponibilidad.

Vale la pena destacar dos características principales del estudio. Ambos modelos insisten en la importancia de fijar precios muy altos para el carbono. Ésta es la única forma de inducir a los proveedores de electricidad a reestructurar su capital y así cumplir con las reducciones de emisiones. Los precios en 2050 llegarían a ser de entre 150 y 500 dólares por tonelada de CO_2. La estimación de los 150 dólares coincide con el precio planteado en la figura 33 y con los resultados de buena parte de los modelos de evaluación integrada global, mientras que los 500 dólares supondrían un nivel muy elevado que generaría graves tensiones económicas en los mercados de energía.

El punto más importante a destacar en todo este asunto tiene que ver con el alcance de la transición tecnológica que será necesaria para cumplir con los objetivos previstos. Las tecnologías que comprenden el 70 por ciento de la generación eléctrica (carbón y gas natural) deberán reemplazarse por completo. La mitad de la generación proyectada se desarrollará con tecnologías que hoy no operan a la escala requerida. En

cuanto a la nuclear, esta tecnología no crece, en parte por la oposición social. En Estados Unidos no se abrió ni una sola central nueva entre 1978 y 2012. En cuanto al resto de fuentes de energía, será generado por tecnologías que hoy son mucho más caras (viento) o que siguen en fase de desarrollo (por ejemplo, la solar fotovoltaica o la geotérmica, cuya aplicación a gran escala sigue siendo investigada).

Una transición tecnológica de esta magnitud requiere años para pasar por distintas etapas de adopción e implementación. Exige superar obstáculos tecnológicos, pero también políticos, regulatorios o económicos. Además, tiene que contar con la aprobación pública y demostrar su rentabilidad para el sector privado. Tecnologías como el CCS se antojan prometedoras, pero su aplicación generalizada podría requerir una década de I+D, otra década adicional de pruebas piloto y quizá un tercer decenio para su implementación a gran escala. Sólo si esos obstáculos se superan con solvencia, dicha solución se podría desarrollar a gran escala, contribuyendo entonces a capturar y almacenar decenas de miles de millones de toneladas de CO_2 cada año.

Esta evaluación aborda simplemente posibles soluciones tecnológicas al problema del clima. A partir de la misma, podemos decir que, para el futuro previsible, no hay tecnologías maduras que puedan alcanzar objetivos ambiciosos de reducción de emisiones económicamente. Eso sí: lo que ocurra en el futuro puede solventar parte de este problema, gracias al rápido desarrollo que estamos viendo en todo tipo de ámbitos tecnológicos. Por tanto, a la hora de estudiar el cambio climático, tenemos que estar atentos a nuevas soluciones que, quizá, pueden contribuir decisivamente a lograr nuestros objetivos.

Aunque no podemos predecir el futuro, sí podemos intentar que los cambios que están por venir se desarrollen en un entorno favorable. Por eso, debemos alentar la ciencia fundamental y aplicada, así como asegurar que los mercados proporcionan los incentivos apropiados para que innovadores e inversores descubran e introduzcan nuevas tecnologías con bajas emisiones de carbono. Esta cuestión nos conduce a la sección final de este capítulo, que explora las políticas de innovación.

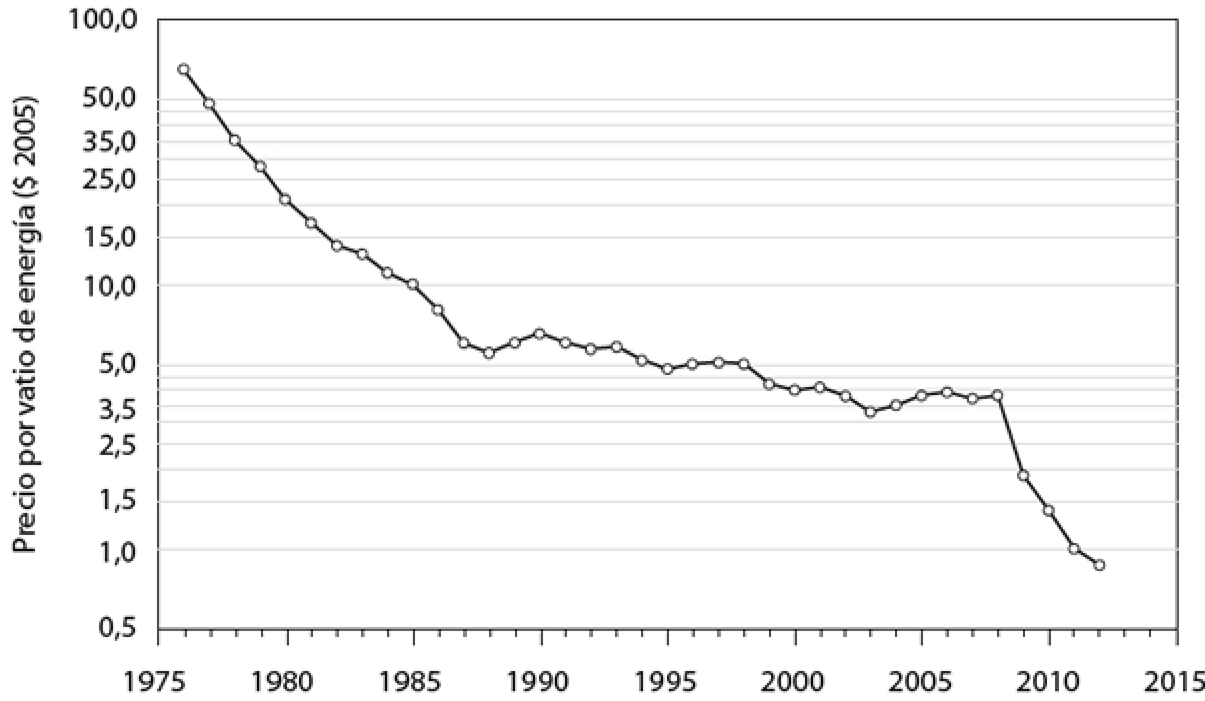
La naturaleza de la innovación

La mayoría de las decisiones sobre energía son tomadas por empresas privadas y consumidores que se mueven a partir de cuestiones como los precios, las expectativas de ganancias, los ingresos o los hábitos y patrones históricos. Los gobiernos influyen en el uso de la energía a través de regulaciones, subsidios e impuestos, pero las decisiones centrales se toman en el contexto privado, en el juego de la oferta y la demanda que se da en el mercado.

Está claro que una rápida descarbonización exige cambios sustanciales en nuestras tecnologías energéticas. Pero ¿cómo surgen los cambios tecnológicos? Generalmente, se dan a través de una compleja interacción en la que entran seres brillantes, equipos persistentes, incentivos económicos adecuados y niveles crecientes de demanda en el mercado. Lo vemos en el ejemplo del desarrollo de la célula fotoeléctrica que dio pie a la energía solar.

La historia comienza en 1839, cuando el joven físico francés Edmond Becquerel teoriza sobre el efecto fotovoltaico mientras experimentaba con una célula electrolítica. La física subyacente al efecto fotoeléctrico fue explicada por Albert Einstein en 1905, trabajo por el cual fue galardonado con el Premio Nobel. Las primeras aplicaciones prácticas importantes nacen un siglo después de los descubrimientos de Becquerel. Así, los científicos de Bell Telephone Labs desarrollan a mediados de la década de 1950 distintos prototipos de células solares. Ante este hallazgo, los gobiernos se involucran progresivamente en la investigación del potencial de la energía solar para su uso en nuestros entornos productivos. Florece entonces la I+D en este campo concreto, con primeras aplicaciones que van desde los satélites espaciales a pequeñas aplicaciones para el hogar. Las grandes plantas solares empiezan a ser una realidad. Aunque la eficiencia de las primeras células era del 4 por ciento, hoy se dan tasas diez veces mayores, con sesgo al alza.

FIGURA 39 **Caída en el precio de la energía solar**



Nota: Los precios bajan aceleradamente en la primera década, se estancan una veintena de años y vuelven a bajar de forma acelerada cuando China entra en el mercado, apoyándose en grandes subsidios del Estado.

Los costes han caído drásticamente y muchos analistas creen que, en dos o tres décadas, la electricidad solar será competitiva con los combustibles fósiles. De hecho, en los últimos años, la caída en los costes y el avance de las políticas de cambio climático han hecho que suba notablemente el número de patentes ligadas al desarrollo de células solares fotovoltaicas. La figura 39 muestra la evolución del precio de los módulos fotovoltaicos.[223]

Si observamos la historia de los inventos, virtualmente todos conllevan una interacción similar que abarca la ciencia básica, los intereses comerciales, los primeros intentos de aplicación práctica, las mejoras de segunda o tercera generación y los procesos de generalización de mercado. Por otro lado, la historia tecnológica también muestra que es difícil pronosticar los avances, tanto como intentar adivinar qué sucederá en el mercado de valores. Por ejemplo, tres sabios como John Jewkes, David Sawers y Richard Stillerman publican en 1958 un estudio que anticipa distintas innovaciones..., pero no imaginan el auge de los ordenadores y la computación. Una década después, los autores explicaban que «a finales de

la década de los cincuenta, esta tecnología parecía tener un futuro comercial tan incierto que decidimos excluirla».[224] Si tres de los historiadores especializados en el campo tecnológico fueron incapaces de advertir un cambio tan significativo, parece lógico que proyectar tendencias futuras en la era de la globalización es, cuando menos, igual de complicado que entonces.

Los economistas que estudian la innovación y el cambio tecnológico enfatizan una característica central que distingue estos procesos de la evolución de bienes normales: por lo general, hablamos de cambios que acarrean grandes externalidades. Recuerde que una externalidad es una actividad para la cual la persona que realiza la actividad no paga, o no es totalmente compensada por el coste o el beneficio social de esa acción.[225]

Todas las nuevas tecnologías tienen esta propiedad. Una vez que se ha desarrollado y revelado una tecnología, su uso se generaliza, más allá de ciertas restricciones como las reguladas mediante patentes o derechos de autor. Tal vez por este motivo muchos de los grandes inventores de la historia murieron en la pobreza. La cruda realidad es que no pudieron capturar los réditos generados por sus ideas.

Desde un punto de vista económico, las invenciones fundamentales tienen las mismas características básicas que el calentamiento global. Su valor se extiende a todos los rincones del mundo. Probablemente, los inventores de la telefonía móvil no soñaban que uno de los grupos de población que saldría más beneficiado de este hallazgo serían personas pobres de remotas aldeas africanas. Con el cambio climático ocurre algo parecido, pero sus externalidades son principalmente negativas, mientras que en el caso de la innovación tecnológica tienden a ser positivas.

Esto nos lleva a la principal implicación económica de las externalidades en la innovación. Debido a que los creadores de nuevos conocimientos no pueden apropiarse de los beneficios que generan sus hallazgos, los rendimientos privados de la inversión en innovación están por debajo de los rendimientos sociales que se derivan de estas mejoras productivas. En consecuencia, se emprende menos en el campo de la innovación de lo que sería óptimo para la sociedad en su conjunto.

La historia de los inventos muestra que resultan de actividades intencionadas, a menudo formales, con implicación privada y a veces pública. ¿Quién asume hoy la tarea de encauzar la innovación y el desarrollo? Por lo general, gobiernos y entidades sin ánimo de lucro financian gran parte de la investigación básica, mientras que la empresa sufraga el desarrollo de productos y la inversión en bienes de capital. Este patrón sugiere que el apoyo a la innovación baja en carbono requerirá dos tipos de financiamiento. Por un lado, el apoyo del gobierno a la investigación básica, esencial para la ciencia y la ingeniería. Para actuar en esta línea, Estados Unidos tiene agencias federales como la Fundación Nacional de Ciencias. También está el Departamento de Energía, cuyo presupuesto puede contribuir a apoyar estas actividades. Por otro lado, para que las tecnologías con bajas emisiones de carbono se muevan más allá de los laboratorios y entren al mercado, se requiere financiamiento de las empresas, que deberán encontrar expectativas de ganancias en estos nuevos productos y procesos. Aquí la actuación es compleja. ¿Cómo motivar al sector privado a invertir en tecnologías bajas en carbono? El principal problema es que las inversiones empresariales en este campo se ven inhibidas por dos externalidades: el hecho de que los innovadores capturan sólo una pequeña fracción de los retornos sociales de la innovación y el hecho de que el precio de mercado del carbono está por debajo de su verdadero coste social. El efecto neto de la combinación de estos factores es el desaliento a la I+D en tecnologías bajas en carbono.

Un ejemplo específico nos ilustra mejor el problema. Una tecnología que definitivamente no sería rentable en un mundo sin políticas limitadoras de CO_2 es CCS. Esta tecnología emplea procesos costosos para capturar las emisiones y almacenarlas en un lugar seguro, donde queda sellado el dióxido de carbono durante un siglo o más. Las estimaciones actuales, basadas en datos de varios grandes proyectos de demostración, sugieren que una gran planta de CCS puede capturar y almacenar CO_2 a razón de 50 dólares por tonelada.[226] Pero si el precio del CO_2 es cero, la planta pierde dinero. Por tanto, ninguna empresa con fines de lucro invertiría en un proceso así, al menos no si el precio del CO_2 está por debajo de su verdadero coste social.

Ahora supongamos que una empresa cuenta con el incentivo de que los distintos gobiernos del mundo pactan fijar el precio del carbono en 100 dólares por tonelada emitida. Con ese precio, una planta de CCS sería rentable, puesto que produciría CO_2 a 50 dólares por tonelada y lo vendería a 100 dólares por tonelada. Las empresas actúan siempre con cautela, contemplando diferentes propuestas alternativas, pero con un esquema de incentivos así podemos decir que tienen razones económicas de peso para invertir en esta tecnología. Esta misma lógica se aplicaría a las inversiones en energía solar, eólica, geotérmica o nuclear.

Esto nos lleva a una conclusión: es necesario un alto precio del carbono para que las empresas orientadas a obtener beneficios emprendan investigaciones, desarrollos e inversiones en nuevas tecnologías caracterizadas por una baja emisión de carbono. Un país no puede tener a los mejores científicos del clima dedicados únicamente a realizar proyecciones: es mejor que se ocupen en diseñar procesos de descarbonización efectivos. También hace falta un ejército de magos de las finanzas que pueda desarrollar productos y derivados con los que se financien estas innovaciones. Pero, para que todo esto suceda, el precio del carbono no puede ser cero.

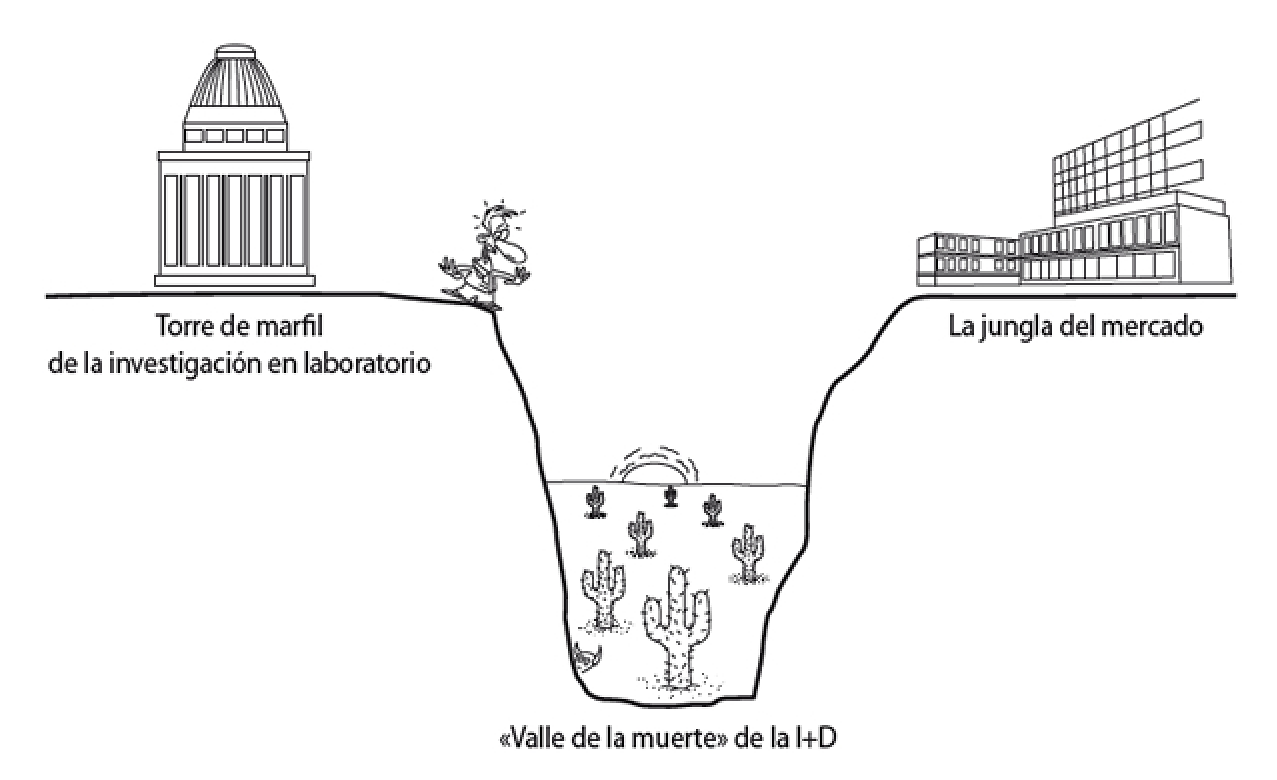
Cruzando «el Valle de la Muerte»

La economía de Estados Unidos tiene una base de ciencia e ingeniería muy sólida, gracias a sus universidades y centros de investigación. Las empresas estadounidenses están en sintonía con el mercado y producen miles de productos nuevos cada año. Pero, entre la torre de marfil y la jungla del mercado, hay un espacio intermedio que el economista John Weyant, de la Universidad de Stanford, definió como «el Valle de la Muerte».[227] En esa «tierra de nadie», las brillantes ideas que salen de los laboratorios terminan «chocando» contra la realidad económica, por carecer de fondos suficientes para consolidar esa transición (ver figura 40).

Este problema ha sido analizado cuidadosamente por un destacado académico en esta área, F. M. Scherer:

> A un lado tenemos la investigación básica y a otro tenemos el desarrollo específico de un producto o un proceso novedoso. Pero, entre ambos extremos, encontramos algo más. Se trata de inversiones en avances tecnológicos que no han madurado lo suficiente para pasar al mercado, pero que sí marcan el camino para otros desarrollos. Estas inversiones han sido descritas como procesos de habilitación precompetitiva. Son iniciativas susceptibles a los fallos del mercado, pero que aportan avances en la dirección adecuada. Hay que tener en cuenta que la inversión requerida para llevar una tecnología al punto de aplicación comercial es sustancial, pero también hay que considerar que, una vez se han hecho avances decisivos, estas tecnologías ya son ampliamente conocidas y están en el punto de mira de innovadores e inversores. El problema es que, llegados a este punto, la protección de una patente puede ser demasiado débil para disuadir la adopción de esos hallazgos por parte de otros proyectos de I+D impulsados por terceros.[228]

FIGURA 40 **Pocas innovaciones sobreviven al paso del laboratorio científico al mercado**



¿Cómo podemos aumentar la tasa de supervivencia de las innovaciones para que sobrevivan al «Valle de la Muerte»? Primero, la externalidad del calentamiento global debe eliminarse fijando un precio apropiado que contemple el impacto del carbono. Como incentivo adicional, los gobiernos pueden otorgar deducciones fiscales a tecnologías precompetitivas que cubran estos ámbitos.

Una innovación gubernamental interesante que se está desarrollando en Estados Unidos es la que facilita el programa ARPA-E.[229] Este acrónimo alude a la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada en Energía. Su propósito es financiar la investigación en este campo a partir de la etapa más temprana. La idea es que, en estos primeros momentos, las empresas dudarán mucho a la hora de apoyar un proyecto, puesto que las incertidumbres técnicas y financieras son muy elevadas. En los primeros años de ARPA-E se incluyen nuevas tecnologías de baterías, procesos de CCS, turbinas más eficientes... El programa es pequeño (275 millones de dólares de presupuesto en 2012, frente a 5.000 millones de gasto anual en I+D), pero los fondos comprometidos pueden tener un alto retorno si contribuyen a que más proyectos salgan con vida del «Valle de la Muerte». Actores públicos y privados deben seguir de cerca esta iniciativa para ver si contribuye a mejorar y acelerar la transición del laboratorio al mercado.

Resumen de conclusiones

Este capítulo debe llevarnos a tres conclusiones principales:

- En primer lugar, es esencial que los gobiernos continúen apoyando la ciencia y la tecnología básica, en la energía y otros campos relacionados. No sabemos qué avances científicos darán resultado, por lo que necesitamos financiar la investigación de manera amplia y sabia. El apoyo a la ciencia básica debe incluir el apoyo a proyectos en etapa temprana, para evitar que el peligroso «Valle de la Muerte» descarrile un número excesivo de proyectos prometedores.
- En segundo lugar, debemos reconocer la importancia del sector privado en el desarrollo de nuevas tecnologías, tanto en las investigaciones sin fines de lucro como por parte de empresarios que sí buscan un beneficio. De especial importancia es asegurar que las empresas con fines de lucro tienen los incentivos adecuados para promover una transición rápida y económica hacia una economía baja en carbono. El principal requisito es que los precios del carbono sean lo suficientemente altos como para que las inversiones en tecnologías de

bajo carbono puedan generar beneficios financieros tangibles y seguros. Sin un precio acorde al impacto del carbono, los innovadores y las empresas no tienen motivos para invertir en tecnologías bajas en carbono. Por tanto, una vez más, el precio del carbono se convierte en una parte central de toda estrategia orientada a contener los peligros del calentamiento global.

- En tercer lugar, vuelvo a enfatizar el papel central que debe desempeñar el cambio tecnológico en la transición a una economía baja en carbono. Las tecnologías actuales no pueden sustituir a los combustibles fósiles sin imponer una penalización económica sustancial. El desarrollo de tecnologías bajas en carbono puede reducir notablemente el coste de alcanzar nuestros objetivos climáticos. Además, si otras políticas fracasan, el desarrollo de tecnologías bajas en carbono es el último refugio que nos quedaría para lograr los objetivos planteados.

Quinta parte

Políticas climáticas

El mayor casino de todos es la política.

Benjamin Disraeli

24

La ciencia climática y sus críticos

Si esto fuera un tratado académico sobre la mejor estrategia económica para enfrentar el cambio climático, ya estaríamos terminando. Hemos revisado la ciencia, la economía y las opciones de política pública que podemos explorar para encontrar soluciones. Hemos llegado a la conclusión de que el cambio climático es un asunto grave, y hemos presentado algunas de las mejores opciones para que los gobiernos lo resuelvan. ¿Fin de la historia?

En realidad, aún quedan cosas por cortar. Este libro se toma en serio la ciencia del clima. Sin embargo, en este ámbito no todos somos «creyentes»: también hay muchos escépticos. Millones de personas malinterpretan los problemas del calentamiento. Las dudas sobre la validez de la ciencia climática, en general, o el escepticismo sobre las políticas para reducir el calentamiento, en particular, desempeñan un papel central en la agenda política estadounidense y de otros países.

Un candidato presidencial de Estados Unidos ha definido el calentamiento como «el mayor engaño en muchos años, quizá en muchos siglos». Un senador de Estados Unidos publicó un libro sobre estas cuestiones que llevaba por título «La gran mentira» y definía el calentamiento como «una conspiración que amenaza nuestro futuro». A esto se le suman grupos de presión que defienden, por ejemplo, que políticas como el tope a las emisiones combinado con mercados de derechos supone «un paso seguro en el camino a la bancarrota».[230]

Estas opiniones no se limitan a Estados Unidos. Un asesor de alto nivel del presidente ruso Vladimir Putin ha declarado que «no se ha establecido ningún vínculo entre las emisiones de dióxido de carbono y el cambio

climático». Un exprimer ministro checo ha tenido notable éxito con un libro en el que afirma que el calentamiento global «es un falso mito desmontado por la ciencia y por todas las personas que analizan el tema con rigor».[231]

No son casos aislados. La lista de ejemplos podría seguir y seguir. Y si bien estos planteamientos pueden parecer polémicos o divertidos, lo cierto es que plantean serios desafíos, porque la opinión pública se distrae en este tipo de dimes y diretes en vez de enfrentar el calentamiento con acciones concretas. Por tanto, la quinta parte del libro se refiere a este tipo de obstáculos.

«Consenso científico»: ¿a qué nos referimos?

Supongamos que somos un estudiante que debe escribir un documento sobre el papel de los humanos en el cambio climático global. Nuestro objetivo es determinar qué opinan los científicos. Cuando consultamos la Wikipedia, leemos lo siguiente: «En la actualidad, el consenso científico sobre el cambio climático es que la actividad humana es, muy probablemente, la causa del rápido aumento de las temperaturas mundiales en las últimas décadas. En consecuencia, el debate se ha desplazado, en gran medida, hacia la búsqueda de fórmulas que ayuden a reducir el impacto humano sobre el clima y a encontrar formas de adaptarse al cambio que ya ha ocurrido».[232]

Atención al concepto de «consenso científico». Puede que hablar de «consenso» en la «ciencia» nos resulte curioso. ¿Qué es un consenso científico? ¿Cómo se establece que tal cosa existe? ¿Quién decide que se alcanza un consenso científico? ¿Y acaso no conocemos casos históricos de consensos científicos que se demostraron equivocados y falsos?

El consenso científico es el juicio emitido en un momento puntual por una comunidad de científicos especializados en un campo concreto. Un juicio colectivo en materia científica no implica unanimidad. Esto es evidente. La ciencia no puede funcionar basándose en la unanimidad, puesto que el disenso en las hipótesis y los resultados es uno de sus principios rectores.

Una forma útil de identificar un consenso en el terreno científico es examinar libros de texto autorizados e informes de expertos sobre un tema concreto. Tomemos por ejemplo el concepto de «externalidades», que es crítico para entender la economía del cambio climático. Podríamos recurrir al excelente libro de texto de los distinguidos economistas William Baumol y Alan Blinder, de la Universidad de Princeton. Este manual suma ya más una decena de ediciones. En el libro, Baumol y Blinder enumeran las externalidades como una de las «10 grandes ideas» de la economía. Los dos autores explican que «algunas transacciones afectan a terceros que no participaron en la decisión, y dichos costes sociales se denominan "externalidades", porque llegan a partes ajenas que son externas a las decisiones económicas que motivan dichos costes. Las externalidades escapan al control del mercado porque ningún incentivo financiero motiva a los generadores de las mismas a minimizar el impacto que causan».[233]

Podemos encontrar una definición similar en otros libros de texto de economía. Por lo tanto, cabe decir que el uso del concepto de externalidades y su utilidad para comprender asuntos como la contaminación y su relación con los procesos del mercado es un buen ejemplo de consenso científico en el campo de la economía. Los economistas pueden estar en desacuerdo sobre qué externalidades son importantes, cuáles son positivas, qué políticas se deben seguir para corregirlas o matizarlas, etc. Sin embargo, hay consenso a la hora de afirmar que las externalidades existen. De igual modo, los científicos ocupados con el clima sostienen que el calentamiento es un hecho, no una falacia.

Supongamos que queremos realizar un juicio colectivo sobre una cuestión científica determinada. ¿Cómo lo podemos lograr? En muchas áreas de la ciencia, el consenso viene determinado por los informes de grupos de expertos. Tomemos, por ejemplo, el caso de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos. Este organismo tiene un proceso cuidadosamente diseñado para producir informes de consenso. Al elaborar sus informes, insiste en que deben contener una serie de ingredientes: tienen que realizarse de manera independiente, con objetividad, con el visto bueno de los dirigentes de las Academias, con la divulgación transparente de cualquier posible conflicto de interés...[234]

Por ejemplo, al Congreso de Estados Unidos le preocupaba hace algunos años el uso de cierto tipo de pruebas en juicios penales. En los últimos años, las pruebas de ADN han demostrado que muchas personas fueron condenadas a muerte sobre la base de testimonios erróneos emitidos por testigos oculares. El Congreso pidió a las Academias Nacionales que preparasen un informe que ayudase a «hacer recomendaciones que contribuyan a maximizar el uso de tecnologías y técnicas forenses a la hora de resolver crímenes, investigar muertes y proteger a la ciudadanía».

Las Academias reunieron a un panel de expertos para estudiar y reportar sobre el tema. El equipo de investigadores revisó la literatura científica disponible, sintetizó el conocimiento existente y escribió un informe de conclusiones. El resultado fue un consenso suscrito por todos los miembros del panel. Dicho consenso fue revisado por expertos externos y luego fue aprobado por la junta directiva de las Academias. A continuación, fue publicado.[235]

¿Qué han concluido los informes de expertos de las Academias Nacionales sobre el cambio climático? Cuando el presidente George W. Bush y sus asesores llegaron al poder en 2001, se mostraron escépticos con respecto al cambio climático, por lo que solicitaron a las Academias Nacionales una labor de «asistencia para identificar las áreas de la ciencia del cambio climático donde existen más certezas y los campos donde hay más incertidumbres». El comité de expertos fue presidido por un distinguido científico del clima, Ralph Cicerone, quien más tarde se convirtió en presidente de la Academia Nacional de Ciencias. Este panel emitió un informe claro y contundente, que comienza afirmando que «los gases de efecto invernadero se están acumulando en la atmósfera de la Tierra como resultado de las actividades humanas, lo que aumenta la temperatura de los océanos y del aire en la superficie».[236]

Una década más tarde, el Congreso formuló preguntas similares a las Academias Nacionales y se emitió otro informe de consenso. Las dos primeras oraciones del resumen ejecutivo apuntan que «las emisiones de dióxido de carbono producidas por la quema de combustibles fósiles han dado paso a una nueva época en la que las actividades humanas determinan en gran medida la evolución del clima de la Tierra. Debido a que el dióxido

de carbono acumulado en la atmósfera permanece ahí durante períodos muy largos, el fenómeno puede desencadenar impactos varios y severos en los ecosistemas terrestres».[237] Según el informe, no hay duda sobre lo que está sucediendo: ni se discute el calentamiento, ni se niega su origen ligado a la actividad económica del hombre.

También podemos acudir a los informes publicados por el IPCC, que es el grupo internacional de expertos que revisa la ciencia del cambio climático para las Naciones Unidas. En concreto, el *IV Informe de Evaluación* del IPCC revisó la evidencia existente y concluyó que «el calentamiento del sistema climático es inequívoco, como se ve en las mediciones de las temperaturas promedio del aire o de los océanos, en el derretimiento generalizado de las capas de hielo y nieve, en el aumento del nivel del mar... La mayor parte del aumento observado en las temperaturas mundiales desde mediados del siglo XX se debe al aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero generadas por la actividad del hombre».[238]

Podríamos citar muchos otros ejemplos, pero los hallazgos básicos de los paneles de expertos de todo el mundo arrojan los mismos mensajes: los procesos que subyacen a las proyecciones del cambio climático se basan en ciencia sólida y, según dichos cálculos, el clima está cambiando inusualmente rápido, con el resultado de que la Tierra se está calentando.

La visión escéptica

En los capítulos anteriores hemos presentado las opiniones científicas dominantes sobre el cambio climático, cubriendo aquello que ya se ha establecido, aquello que aún nos es incierto y, en parte, lo que nos es desconocido pero, de algún modo u otro, lo intuimos o nos preocupa. No todos los científicos o economistas estarían de acuerdo con los hallazgos descritos, pero la mayoría de ellos tiene detrás una base sólida de literatura académica que ha sido publicada en revistas científicas contrastadas.

El consenso no implica unanimidad. De hecho, hay un pequeño grupo de científicos escépticos que argumentan que el consenso sobre el cambio climático está mal fundamentado y que las políticas para desacelerar el

calentamiento no están bien justificadas. En 2012, *The Wall Street Journal* publicó un artículo de opinión firmado por dieciséis científicos en el que declaraban que «no hay que preocuparse por el calentamiento global».[239] Aquella columna recoge muchas de las críticas estándar emitidas por las voces discrepantes.[240]

El mensaje central del artículo es que el planeta no se está calentando, que los modelos están mal y que retrasar las políticas para frenar el cambio climático cincuenta años no tendrá consecuencias graves ni para la economía ni para el medio ambiente. Analizaré cuatro de sus afirmaciones por ser argumentos centrales de quienes defienden esta postura.[241]

El primer reclamo de los escépticos es que el planeta no se está calentando. Los dieciséis científicos que firman el artículo de *The Wall Street Journal* afirman que «quizá la verdad más incómoda de todas es que, en los últimos diez años, no ha habido calentamiento global». Es fácil perderse en los detalles pequeños, de modo que centrémonos en el registro de mediciones que aparece en la figura 8. No hace falta ningún análisis estadístico complicado para ver que las temperaturas están aumentando y que, de hecho, son más altas en la última década que en las anteriores.[242]

Por otro lado, los científicos del clima se han ocupado de medir mucho más que la temperatura media del planeta, de modo que sería un error pensar que sólo esa métrica se ocupa de estudiar si hay o no cambio climático. Así, se han encontrado varios indicadores que apuntan a un mundo más cálido como consecuencia de la actividad del hombre. Lo vemos, por ejemplo, en las mediciones del derretimiento de los glaciares o las capas de hielo, en los patrones de pluviosidad, en la humedad atmosférica, en la escorrentía de los ríos, en el aumento del nivel del mar, en el enfriamiento estratosférico, en la contracción del hielo marino del Ártico...

Mirar sólo la temperatura global supone ignorar muchas otras métricas. Sería como juzgar un crimen apoyándonos en testigos oculares pero descartando las huellas dactilares, las pruebas de ADN, las cámaras de videovigilancia, las redes sociales, etc.[243] He ahí un error recurrente en el que caen los escépticos: repiten afirmaciones que se basan en técnicas y datos incompletos y obsoletos.

Su segundo argumento es que los modelos climáticos están exagerando el alcance del calentamiento. Los dieciséis científicos escribieron en *The Wall Street Journal* que «en la última década se ha dado el menor calentamiento previsto por las mediciones que ha realizado el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) desde hace más de veinte años. Por tanto, los modelos informáticos han exagerado enormemente la cantidad de CO_2 adicional que puede causar el calentamiento».

¿Cuál es la evidencia sobre el desempeño de los modelos climáticos? ¿Predicen con precisión la tendencia histórica o la exageran? Los estadísticos abordan habitualmente este tipo de preguntas. El enfoque estándar consiste en realizar un experimento en el cual los modeladores plantean los cambios en las concentraciones de CO_2 y otros fenómenos climáticos y luego estiman la trayectoria de la temperatura resultante. A continuación, los modeladores calculan lo que sucedería en una situación en que no se diesen emisiones de GEI. Seguidamente, se comparan los aumentos reales de temperatura y las predicciones del modelo con y sin GEI.

Este experimento se ha realizado muchas veces utilizando modelos climáticos.[244] Los estudios muestran que las proyecciones de los modelos climáticos son consistentes con las tendencias de temperatura registradas en las últimas décadas cuando se incluyen los impactos humanos. La tendencia divergente es especialmente pronunciada después de 1980. En 2010, los cálculos que se refieren sólo a fuentes naturales de CO_2 prevén que la temperatura real aumente 1 grado centígrado a finales del siglo XXI, mientras que los cálculos que incluyen fuentes humanas siguen de cerca la tendencia de la temperatura real.

Al revisar los resultados, el *IV Informe de Evaluación* del IPCC concluye que «no hay ningún modelo climático que, partiendo únicamente de factores naturales, reproduzca la tendencia de calentamiento que se ha observado en la segunda mitad del siglo XX».[245]

El tercer punto que subrayan los escépticos tiene que ver con el impacto del CO_2. «No es contaminante en sí mismo», recuerdan quienes se desmarcan de la tesis dominante. ¿A qué se refieren? En gran medida, a que

el dióxido de carbono no es necesariamente tóxico para los seres humanos u otros organismos. De hecho, algunas de estas voces afirman que las concentraciones más altas de CO_2 pueden llegar a ser beneficiosas.

Pero conviene matizar esto. La Ley de Aire Limpio de Estados Unidos define como contaminante «cualquier agente, sustancia o materia que se emite al aire». En la misma línea fue la Corte Suprema, que en 2007 apuntó que «el dióxido de carbono, como el metano, el óxido nitroso o los hidrofluorocarbonos, es sin duda una sustancia química que se emite al medio ambiente y que encaja dentro de lo que la Ley de Aire Limpio considera como contaminante».[246]

En economía, la contaminación es una forma de externalidad negativa, es decir, un subproducto de la actividad económica que causa daños a terceros que no tienen relación directa con los procesos que provocan las emisiones. Desde espacios escépticos se cuestiona que las emisiones de CO_2 y otros GEI vayan a causar daños netos en nuestro clima futuro. De esto se ocupan la discusión sobre la figura 8 y el capítulo 20. Conviene recordar que once de los trece estudios de referencia han concluido que sí habrá daños netos y que su impacto será considerable cuando se rebase el umbral de 1 grado centígrado adicional respecto a los niveles preindustriales.[247] El CO_2 es, pues, un contaminante, puesto que su emisión acarrea efectos perjudiciales en el medio ambiente.

Por último, los dieciséis científicos que firman el artículo de *The Wall Street Journal* argumentan que el calentamiento podría ser beneficioso. Al lanzar este tipo de argumentos, estos autores citaron algunos de mis trabajos: «Un estudio reciente de William Nordhaus plantea distintas opciones políticas y concluye que, comparando costes y beneficios, es recomendable permitir el crecimiento económico esperado para el próximo medio siglo sin tomar medidas restrictivas del CO_2». Esta tesis parte de que un calentamiento moderado no tiene un coste negativo neto tan alto, sobre todo si evoluciona de la mano de un crecimiento pronunciado de la economía.

Los autores utilizan el concepto de «relación coste-beneficio» para apoyar su argumento, pero yerran al ignorar que el enfoque apropiado para tomar este tipo de decisiones implica un análisis de beneficio neto, es decir,

un cálculo de la diferencia entre beneficios y costes, en vez de un estudio de la relación de ambas cosas.[248]

El punto principal, en cualquier caso, es que el resumen que hacen estos dieciséis científicos de mi trabajo es, sencillamente, incorrecto. Mi investigación, junto con la de casi todos los demás expertos en modelos económicos del cambio climático, pone de manifiesto que actuar ahora en lugar de esperar cincuenta años tiene beneficios netos mucho más significativos. Si no se toman medidas hasta dentro de medio siglo, la pérdida neta que arroja el modelo DICE-2012 es de 6,5 billones de dólares. Esperar es costoso hoy y también supone un mayor desembolso en el futuro, puesto que implica tomar medidas con menos plazo y más urgencia.

Políticas en el «casino del clima»

Los escépticos argumentan a menudo que no estamos seguros sobre lo que supondrá el cambio climático y sus impactos futuros, de modo que sostienen que debemos aplazar cualquier medida costosa a la espera de recopilar más información concluyente. Los dieciséis científicos que recogieron este tipo de argumentos en las páginas de *The Wall Street Journal* recomendaron esperar cincuenta años antes de tomar medidas para frenar el cambio climático.

El problema es que la pasividad con el cambio climático es peligrosa. Como defiendo en este libro, es equivalente a jugar a la ruleta rusa. Los seres humanos estamos tentando la suerte al inyectar más y más CO_2 en la atmósfera sin tomar medidas para al menos moderar esa tendencia. Como en el casino, las bolas pueden caer en una casilla negra y, quizá, el coste será asumible. Pero también hay casillas rojas y, en ese caso, los riesgos son muy elevados. De hecho, la ciencia nos invita a pensar que esta ruleta tiene muchas más casillas rojas que negras.

Lo sensato es estar asegurados ante peligros que, en gran medida, están siendo anticipados por los expertos en esta materia. La modelización nos dice que retrasar estas medidas encarece el daño y el coste posterior de reaccionar ante el calentamiento. Además, no hay que olvidar que hay muchos impactos que no vienen recogidos en los modelos: los puntos de

inflexión, el papel que desempeñará la acidificación de los océanos... De modo que escuchar el consejo de los escépticos y no tomar medidas parece, cuando menos, una apuesta peligrosa.

Certezas en lo desconocido

A menudo me preguntan si, dadas todas las incertidumbres con las que tenemos que lidiar, podemos estar absolutamente seguros de que los humanos están causando el aumento de las temperaturas. También hay quienes no tienen claro si esta tendencia continuará en los próximos años. El *IV Informe de Evaluación* del IPCC se refirió a estas cuestiones y proclamó que «el grueso del aumento observado por los científicos en las temperaturas mundiales se debe, en gran medida, al aumento observado en las concentraciones de gases de efecto invernadero emitidos por la actividad humana».[249]

Los escépticos siguen atacando estas y otras conclusiones similares. Un argumento recurrente es que los científicos no aseguran al ciento por ciento que vaya a cumplirse su predicción sobre el calentamiento global. Eso es verdad. Pero, no lo olvidemos, un buen científico nunca está ciento por ciento seguro de ningún fenómeno empírico. Richard Feynman lo explicó de una manera humorística, pero muy profunda, cuando dijo lo siguiente: «Todo esto es como hablar de ovnis con un "experto" en la materia. Siempre te dirán que probar que no existen... es imposible. Pero, cuando me lo dicen, como buen científico, siempre matizo que la palabra que deberían usar no es imposible, sino probable. De manera que mi postura oficial en relación con los ovnis es que "es probable que los informes sobre su existencia sean el resultado de las características irracionales de la inteligencia terrestre"».[250]

Más allá de bromas, creo que hay dos lecciones centrales que el lector puede sacar de este capítulo.

Por un lado, hay que tener en cuenta que los ataques al «consenso científico» no parecen fundados. Siempre hay científicos preocupados por datos o tendencias que, puntualmente, arrojan matices distintos a las teorías estándar, pero eso no invalida ni anula las conclusiones del grueso de

expertos en una materia. Hay períodos de pausa en el calentamiento u observaciones satelitales que no coinciden con mediciones terrestres. Hay estudios que ven positivo el aumento de la concentración de CO_2 en áreas como la agricultura. Pero, por encima de todo, hay informes sobre el daño que entraña el calentamiento. No podemos olvidarlo. La historia de la ciencia nos dice que debemos estar atentos ante la posibilidad de que se generalicen consensos en torno a cuestiones erróneas. No se pueden ignorar inconsistencias reveladoras ni se pueden defender teorías como si fuesen autos de fe. Por eso, ante las críticas, la ciencia climática debe revisar sus argumentos, determinar si los reproches tienen sentido y seguir construyendo conocimiento. Hay que afrontar los argumentos contrarios con el mismo vigor y el mismo espíritu crítico que se aplican a revisiones por parte de voces menos hostiles.

Por otro lado, hay que recordar que la ciencia siempre avanza gracias a un cierto grado de duda. Por eso, podemos seguir el ejemplo de Feynman y decir que, «a partir de los estudios canónicos que se han elaborado en esta materia, así como del grueso de modelos climáticos y del trabajo de especialistas en estas cuestiones, podemos decir que es muy probable que las teorías sobre el calentamiento sean ciertas. Quizá no podemos decir que son verdaderas con un ciento por ciento de seguridad, pero sí con un 95 por ciento. Y es bueno que no lleguemos al ciento por ciento, porque la certeza absoluta no se puede lograr en ningún ejercicio de ciencia empírica. Y, no lo olvidemos, si esperamos hasta que estemos completamente seguros, siempre será demasiado tarde para evitar los daños».

25

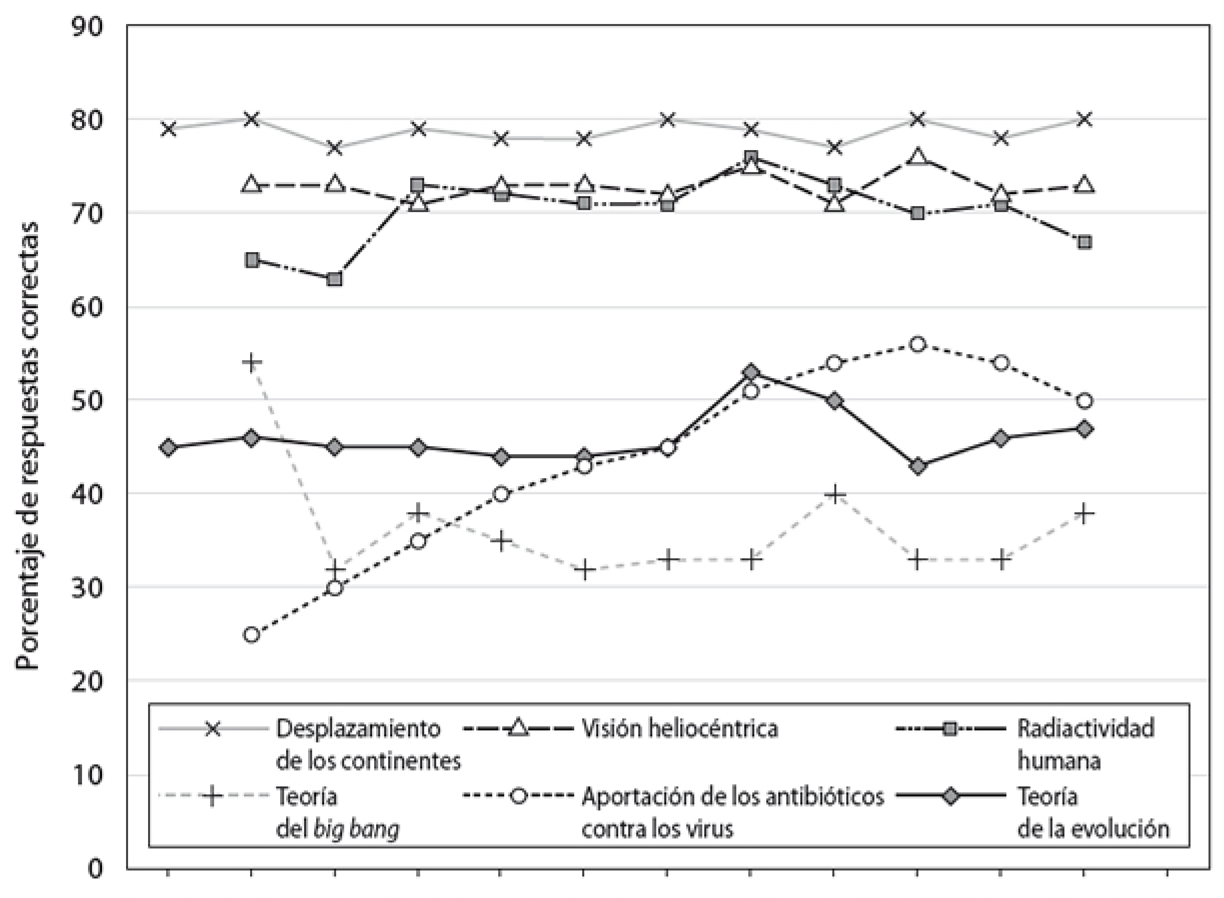
La opinión pública ante el cambio climático

En una democracia, la consolidación de políticas efectivas y duraderas que contribuyan a frenar el calentamiento global depende, en última instancia, del apoyo que brinde el gran público a este tipo de acciones. Si bien la base científica que soporta el diseño de dichas acciones se ha fortalecido con el paso del tiempo, observamos una gran brecha entre lo que opinan los científicos del clima y el criterio expresado por la mayoría de las personas de a pie. Ese diferencial es especialmente pronunciado en el caso de Estados Unidos. ¿Cuáles son las opiniones sociales más dominantes en materia de cambio climático? ¿Cuáles son los motivos que explican esas diferencias entre expertos y ciudadanos? He ahí algunas de las preguntas que se examinan en este capítulo.

La opinión pública ante la ciencia y el calentamiento global

Antes de analizar la opinión pública sobre el calentamiento global, demos un paso atrás para examinar la opinión pública sobre la ciencia en general. No olvidemos que el cambio climático es un campo científico y, por tanto, es útil fijarse en lo que las personas creen acerca de las distintas áreas de conocimiento que explora la ciencia, algunas ciertamente controvertidas y otras no tanto.

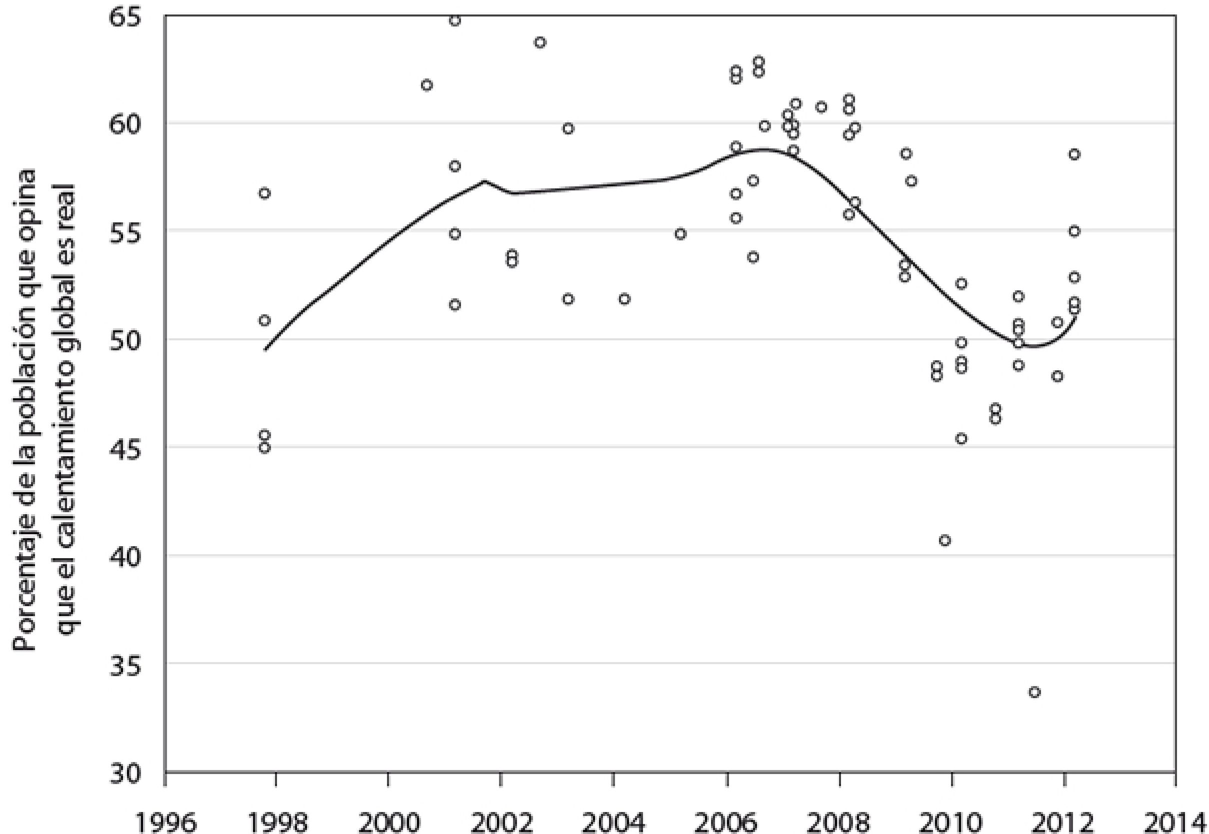
FIGURA 41 **Comprensión popular de conceptos científicos clave**



Nota: Por lo general, el gran público acepta la explicación científica del desplazamiento y deriva de los continentes, como también «compra» la visión heliocéntrica. Sin embargo, la teoría del *big bang* sobre el origen del universo o las teorías evolutivas son expresadas correctamente por menos de la mitad de los estadounidenses encuestados.

Durante varios años, la Fundación Nacional de Ciencias de Estados Unidos financió encuestas que buscaban medir la comprensión del gran público sobre los principales conceptos científicos. Los sondeos fueron descritos como «Índices de Alfabetización Científica». La figura 41 muestra el porcentaje de encuestados que respondieron «correctamente» seis preguntas científicas relevantes.[251] Cierto es que no podemos afirmar que un consenso científico sea sinónimo al 100 por ciento de verdad, pero como indica el capítulo 24 cabe plantear dicho estado de conocimiento como un indicador claro de que es muy probable que hayamos encontrado la respuesta correcta a las preguntas que nos hacemos en relación con una u otra cuestión.[252]

FIGURA 42 **Porcentaje de la población que opina que el calentamiento global es real**



Nota: Este gráfico resume la posición de la opinión pública en Estados Unidos en lo tocante al calentamiento global. Aunque las preguntas formuladas no son idénticas, se refieren generalmente a la existencia o no de un fenómeno de calentamiento. Los puntos son las encuestas individuales, mientras que la línea continua es el ajuste estadístico.

De los sondeos se deduce que la sociedad está bien informada sobre algunos conceptos científicos: la visión heliocéntrica, las fuentes de la radiactividad, la deriva continental... El concepto de evolución no encaja tan bien con los estadounidenses, mientras que la teoría del *big bang* ha perdido terreno entre el público en el último cuarto de siglo.

Por otro lado, la comprensión del efecto de los antibióticos sobre los virus ha mejorado notablemente. Quizá los médicos tienen más suerte a la hora de propagar el conocimiento disponible porque las personas prestan más atención a los científicos cuando está en juego su bienestar personal más inmediato.

Ahora estudiemos los puntos de vista de la sociedad estadounidense sobre el calentamiento global, a partir de las encuestas sobre el tema que se vienen realizado desde 1997. De las principales encuestas realizadas por diferentes consultoras de opinión pública, se han seleccionado las ocho

muestras que repiten la misma pregunta con el paso de los años. Las firmas encuestadoras incluidas son Gallup (cinco series de sondeos), Pew Research (dos) y Harris (uno). Pew Research, por ejemplo, preguntaba a los ciudadanos: «En línea con lo que han leído o escuchado, ¿consideran que hay pruebas sólidas de que la temperatura promedio en la Tierra ha aumentado en las últimas décadas?». Las tres series de encuestas agrupan 67 sondeos realizados en distintas épocas. Sus conclusiones aparecen en la figura 42.[253]

Los datos de la encuesta arrojan un patrón interesante que, de hecho, difiere de los resultados referidos a la comprensión científica de asuntos generales. Podemos ver que la aceptación pública de la ciencia del clima en Estados Unidos aumentó notablemente desde finales de los años noventa hasta mediados de la primera década del siglo XXI. A continuación, el grado de acuerdo de la sociedad con el «consenso científico» cayó de forma progresiva, principalmente después de 2006. La serie muestra una caída del 58 al 50 por ciento entre 2007 y 2010. Quizá los científicos puedan celebrar que esa tendencia parece haberse invertido desde entonces. En las diez encuestas que se han formulado desde 2011 hasta 2014 ha aumentado el porcentaje de respuestas convencidas del «consenso científico».

Hay que tener en cuenta el contraste entre las tendencias de opinión pública sobre calentamiento global y los cambios en la formación científica general. Los cambios son mucho más bruscos en el tema que nos ocupa que en los asuntos científicos recogidos en la figura 41.[254]

La importancia del mensajero

Los profesores lidiamos a diario con conceptos erróneos de los alumnos que llenan nuestras aulas. En el terreno económico, la mayoría de los estudiantes llega a la universidad sin conocer cómo se mide el desempleo o qué hace exactamente la Reserva Federal. Sin embargo, lo importante es que estos jóvenes tienen una mentalidad abierta y no dejan de acudir a clase, lanzar preguntas y aprender. Tras un semestre, todos conocen las respuestas más básicas y la mayoría logra ir más allá de esas nociones y amasar un entendimiento más avanzado.

Cuando califico exámenes y descubro que un estudiante no sabe lo que hace la Reserva Federal, me preocupa entender por qué. De igual modo, necesitamos saber por qué las personas tienen opiniones científicas que, a juzgar por el consenso científico, son incorrectas. El tema de la opinión pública sobre la evolución ha sido cuidadosamente estudiado. En Estados Unidos se da el porcentaje más alto de personas que opina que el ser humano no evolucionó a partir de especies anteriores (54 por ciento). A continuación nos topamos con Filipinas, Polonia y Letonia, mientras que Japón ocupa el último lugar de rechazo a la teoría de la evolución, con apenas un 10 por ciento de oposición.

Los estudios sobre los determinantes de las opiniones científicas encuentran diferentes factores que explican estas cuestiones.[255] La educación es un factor determinante a la hora de esclarecer por qué tenemos opiniones correctas o no. La religión también tiene un papel altamente significativo en el caso de la evolución. El 29 por ciento de quienes tienen puntos de vista religiosos muy fuertes (sosteniendo, por ejemplo, que la Biblia es la palabra literal de Dios) sostiene también que la teoría de la evolución es correcta, frente al 79 por ciento que toma las escrituras con algo más de distancia o contexto.

En ocasiones la política se acerca a puntos de vista científicos dominantes, mientras que en otras hace lo contrario. Pensemos en la evolución. Entre quienes se consideran progresistas, un 68 por ciento asume que el ser humano evolucionó de especies animales pretéritas. Para los conservadores, esa cuota es del 33 por ciento. Pero si nos fijamos en otras preguntas científicas encontramos que la adscripción política tiene escasa importancia. Por ejemplo, los conservadores tienden a obtener una proporción ligeramente mayor de respuestas correctas sobre preguntas sobre astrología y antibióticos, mientras que a los progresistas les va mejor en los temas de la radioactividad y la química.[256] Por tanto, la conclusión de todos estos estudios es que, cuando la ciencia choca con convicciones profundas (como la religión o la política), la convicción puede triunfar sobre la ciencia, incluso entre aquellos que tienen una educación superior.

En la actualidad, existe evidencia limitada sobre los determinantes de las opiniones públicas sobre el calentamiento global. Sin embargo, podemos mirar las encuestas existentes para obtener algunos resultados básicos. En 1997 no había una diferencia partidista en las opiniones sociales sobre el calentamiento global. Sin embargo, desde entonces ha surgido una fuerte división sobre el tema que sí muestra una clara tendencia asociada a la filiación electoral. En 2010, una encuesta de Pew Research encontró que el 89 por ciento de los demócratas estadounidenses pensaba que la Tierra se está calentando, mientras que el porcentaje observado entre los republicanos era de un 33 por ciento.

Otra cuestión interesante es la que tiene que ver con el consenso científico. Ya hemos visto que el calentamiento global está generalmente aceptado por los especialistas. Pues bien, entre quienes se vinculan al Partido Demócrata vemos que sólo el 59 por ciento está de acuerdo con la afirmación del grueso de la comunidad científica de que la Tierra se está calentando principalmente debido a la acción humana. Este porcentaje es aún menor entre los simpatizantes del Partido Republicano asociados al Tea Party: apenas un 19 por ciento cree que el calentamiento existe y que es obra del hombre.[257] Los desacuerdos se están ampliando precisamente cuando los científicos alcanzan un mayor grado de coincidencia en torno a la ciencia básica del cambio climático.

Podríamos pensar que la educación puede ser la respuesta que soluciona las dudas que nos invaden ante estas informaciones. Sin embargo, no hay una diferencia sustancial dependiente del nivel de educación: el 61 por ciento de quienes tienen educación secundaria o inferior cree que existe evidencia sólida para respaldar las tesis del calentamiento, mientras que esta cuota es del 60 por ciento entre quienes se han formado en la universidad o incluso han completado estudios de posgrado. Por tanto, la ideología triunfa sobre la educación.[258]

La creciente brecha entre las opiniones públicas y científicas sobre el cambio climático (recogida en la figura 42) debería despertar una preocupación importante entre aquellos que creen que se deben tomar medidas de gran alcance y con cierta urgencia. ¿Cómo puede ser que estadounidenses muy preparados estén menos informados sobre la ciencia

climática que aquellos que no fueron a la universidad? ¿Cómo se explica la caída en la aceptación pública de la ciencia del clima que se ve a partir de 2006?

Para entender esta extraña tendencia, pasemos a los estudios disponibles sobre formación de opinión pública. De entrada, los investigadores de las encuestas han encontrado que la mayoría de la gente está mal informada sobre los asuntos públicos. Por ejemplo, un informe encontró que menos del 2 por ciento de los estadounidenses pueden nombrar al menos a cinco jueces de la Corte Suprema. Tenemos ideas claras sobre posturas generales (queremos leyes más duras o más blandas, queremos una economía más intervenida o más liberalizada, etc.) pero somos vagos a la hora de bajar al detalle de muchas cuestiones políticas, económicas o científicas. La ciencia del calentamiento global parece resentirse especialmente de esa pereza intelectual.

Un segundo hallazgo, en parte derivado del primero, es que las personas tienden a formar sus opiniones escuchando y adoptando las opiniones de las élites intelectuales de aquellos grupos a los que se adhieren. Hoy en día, la mayoría de las personas se informa a través de internet o la televisión. Hay relativamente pocas personas que sigan informándose principalmente a través de los periódicos, cuya profundidad suele ser mayor. Por tanto, se genera conocimiento menos profundo y más cargado de intencionalidad política.

La dependencia de las opiniones de las élites no es sorprendente ni novedosa. Después de todo, no podemos estudiar cada tema en profundidad, por tanto acudimos a expertos que demuestran, con su trayectoria, un mayor conocimiento del gobierno y la política social. Y, como confiamos en ellos, adoptamos sus puntos de vista en ámbitos muy dispares: medio ambiente, política exterior, etc. Esto es especialmente pronunciado si apenas invertimos unos minutos al mes a pensar en estos temas. Sólo así terminamos pensando que «los combustibles fósiles son restos de dinosaurios fosilizados...».[259]

Teorías modernas sobre la formación de opinión pública, desarrolladas por autores como John Zaller, enfatizan los puntos que acabamos de mencionar y proponen un marco explicativo de los procesos que nos llevan

a formar opiniones sobre cuestiones varias.[260] Por lo general, empezamos con un conocimiento limitado de cualquier asunto y acudimos a referencias cercanas sobre la materia como fórmula para enmarcar nuestra respuesta.

Una de las preguntas incluidas en las encuestas sobre el calentamiento global tiene que ver con el grado de preocupación que genera el fenómeno. Supongamos que la pregunta se formula justo después de una pequeña tormenta de nieve. Quizá ese fenómeno no afecte notablemente a nuestra respuesta. Pero supongamos ahora que el sondeo tiene lugar después de que el huracán *Sandy* haya golpeado con dureza a distintas ciudades de la costa noreste de Estados Unidos. Tal vez entonces nos mostraremos más preocupados por este tema.

Pero ¿por qué la opinión pública se volvió más escéptica sobre el calentamiento global en la década pasada? ¿Cuál fue la fuente de la brecha política aguda? La explicación más convincente es la dinámica de la política estadounidense moderna. Durante las últimas tres décadas, los dos principales partidos políticos han desarrollado ideologías cada vez más encontradas en todo tipo de aspectos: fiscalidad, aborto, regulación..., y política ambiental.

A medida que el calentamiento global adquiere más importancia, atrae a «empresarios» de la política. En este sentido, el jugador más importante en Estados Unidos ha sido Al Gore, que fue senador demócrata, vicepresidente del gobierno de Bill Clinton y candidato a la Casa Blanca. En su caso, creía que el calentamiento global es un reto que va a definir nuestra época. Una y otra vez, Al Gore habló sobre los peligros de la trayectoria actual de emisiones de CO_2 y otros GEI. De forma activa, propuso medidas para reducir las emisiones: impuesto a la energía, mercados de derechos de emisiones con tope máximo a las mismas, impuesto al carbono... Él negoció personalmente el Protocolo de Kioto e hizo que el cambio climático como un problema científico se incorporase a la primera fila de la agenda política.

Otros en el Partido Demócrata se movieron en la misma dirección en la que avanzaba la ciencia del cambio climático, favoreciendo políticas que pretenden reducir las emisiones de CO_2. El presidente Bill Clinton advirtió sobre el calentamiento global en reiteradas ocasiones y aprobó el Protocolo de Kioto en 1997, aunque no envió legislación alguna al Congreso para

implementar las disposiciones o ratificar el acuerdo. La cosa fue distinta en 2009, cuando el entonces presidente Barack Obama aprobó un proyecto de ley que fijaba un tope a las emisiones y desarrollaba un mercado de derechos para comerciar con las mismas.

Casi al mismo tiempo, los políticos conservadores giraron en la dirección opuesta. Parte del motivo de este enfoque fue el *boom* que ha experimentado entre las filas republicanas un pensamiento económico partidario del libre mercado y escéptico de las intervenciones gubernamentales en todo tipo de áreas. Esta visión también se vio reforzada por el apoyo económico que prestaron a estos políticos distintos grupos empresariales y familias con fuertes intereses económicos en la no adopción de medidas de mitigación.

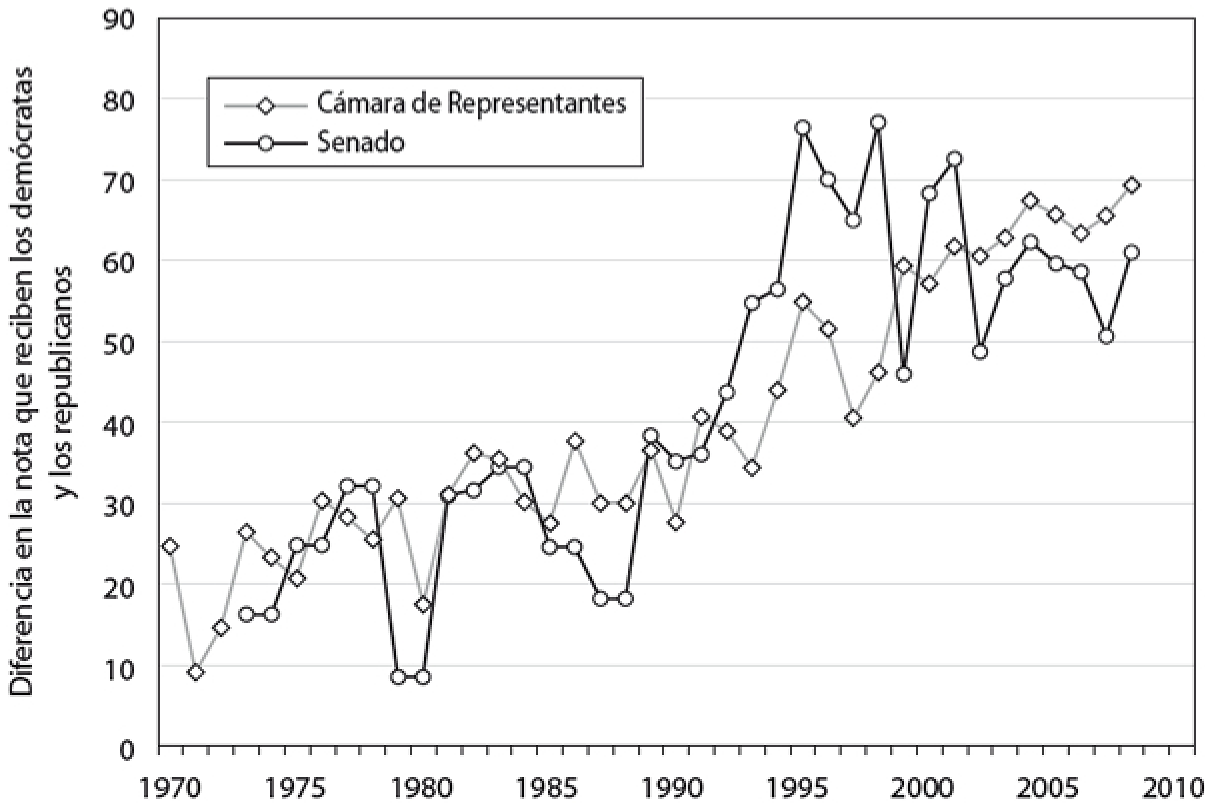
La brecha quedó clara con la propuesta del gobierno Obama, aprobada por la Cámara de Representantes en 2009 con apenas ocho votos republicanos a favor. Si repasamos las declaraciones de las principales figuras políticas republicanas de los años 2010 a 2012, vemos que la gran mayoría critica la ciencia o la economía del cambio climático, si no las dos cuestiones. Por lo tanto, para dicho período, las dos partes estaban claramente divididas en cuanto a las políticas de calentamiento global. Los argumentos en contra de las políticas climáticas se alimentaban de los argumentos en contra de la ciencia climática, en línea con el discurso escéptico que explora el capítulo 24.

La creciente fractura política en temas medioambientales viene recogida en la figura 43, que explora las posiciones de los dos partidos utilizando la guía de voto de la Liga de Electores por la Conservación del Medio Ambiente. Este grupo califica a los miembros del Congreso con notas que van de 0 a 100, dependiendo de su votación en aspectos cruciales de la legislación climática. El mayor aumento se da entre 1988 y 1997, cuando la Administración Clinton negocia el Protocolo de Kioto y la brecha entre demócratas y republicanos salta de 20 a 60-70 puntos porcentuales.[261]

Por lo tanto, los mensajes de las élites políticas estadounidenses se diferencian cada vez más. La postura conservadora parece insistir en que el calentamiento global se basa en pesquisas científicas mediocres y soluciones políticas tremendamente costosas. Los progresistas afirman todo

lo contrario. Y, al hilo del clima electoral, estas posiciones cobran más o menos fuerza. Lo vemos en la figura 42, donde parece evidente que, en determinados momentos, se dan cambios bruscos en la opinión pública.

FIGURA 43 **Ampliación de la brecha partidista en las políticas medioambientales votadas en el Congreso de Estados Unidos**



Nota: El gráfico muestra la diferencia entre las puntuaciones de los demócratas y los republicanos en la Cámara de Representantes y en el Senado. Tras una cierta cercanía entre 1970 y 1990, encontramos un fuerte aumento de la polarización.

Las teorías sobre la formación de opinión pública quedan claramente de manifiesto a la luz de estos datos. Las élites conservadoras se movieron hacia una posición de escepticismo y la opinión pública siguió esta postura. Los republicanos más intensamente involucrados, como los seguidores del Tea Party, adoptaron esta postura con mayor intensidad.

El cambio climático es un campo en el que la opinión de los líderes políticos forja de manera decisiva la evolución del criterio de la sociedad en su conjunto. La mayor divergencia en el terreno político se ha traducido en

una mayor polarización del debate en el plano social. En 2013, la opinión pública sobre el cambio climático reflejaba en gran medida la ideología política, de modo que la ciencia pasó definitivamente a un segundo plano.

Este análisis nos recuerda cómo surge la polarización entre los puntos de vista de los científicos del clima y el sentir de la opinión pública. Esa brecha crece y acaba por convertirse en un abismo como resultado de un rechazo político que se nutre también del apoyo que le prestan poderosas fuerzas económicas. Esa confluencia socava el paradigma científico dominante. El caso del calentamiento global es sólo uno de los muchos ejemplos históricos en los que la lucha por comprender fenómenos naturales se ha visto truncada por las perversidades del ser humano.

Cerrando la brecha en la opinión pública: hacia un discurso conservador

Vimos en la primera parte de este capítulo que el cambio climático ha generado una fuerte división política en Estados Unidos. Muchas personas piensan que la desaceleración del cambio climático es una causa progresista, que sólo está respaldada desde círculos hostiles al capitalismo que pretenden poner de rodillas la economía de mercado. También es cierto que, al otro lado del río, se fomenta la idea de que los escépticos son ajenos a cualquier preocupación medioambiental.

Si bien el cambio climático se ha convertido recientemente en una cuestión de «campo de batalla» entre republicanos y demócratas, creo que esta división partidista se puede salvar si consideramos lo que está en juego y si planteamos soluciones sensatas.

Esta sección examina los problemas desde una perspectiva diferente. Mi objetivo es ponerme en la piel de un conservador que defiende posturas liberales, basadas en limitar la intervención del gobierno. Partiendo de este prisma, me abstendré de defender a las grandes corporaciones petroleras, insistiré en defender los derechos de propiedad ante cualquier propuesta medioambiental que los ponga en entredicho y propondré un sistema político y económico eficiente y equitativo, capaz de maximizar la libertad individual.

Esta forma de ver las cosas es compatible con desear un mundo mejor para nuestros hijos y nietos. Dicho principio está por encima de diferencias partidistas. No en vano, Ronald Reagan afirmó que «si algo hemos aprendido en las últimas décadas es que preservar el medio ambiente no es una causa que deba separarnos políticamente, sino que es un reto de sentido común del que depende nuestra salud, nuestra felicidad, nuestro bienestar económico... Por eso, tenemos que trabajar juntos para erigirnos en administradores cuidadosos y efectivos de nuestros recursos naturales».[262]

Entonces, siguiendo este discurso de derechas, consideraré que es necesario hacer algo para lidiar con el calentamiento global. Pero, ¿qué tipo de respuesta debe dar un conservador liberal? De entrada, empezaría por leer los análisis científicos con mucho cuidado. A continuación, examinaría los argumentos de los escépticos del cambio climático, como hemos hecho en el capítulo 24. Después de acceder a todo este conocimiento con la mente abierta, creo que mi investigación me llevaría a pensar que la ciencia del cambio climático es convincente y que los argumentos contrarios son demasiado débiles. Claramente, hay muchas preguntas que no tienen aún una respuesta clara, pero la idea de que un ejército de científicos está tramando una gran conspiración se antoja absurda cuando nos aproximamos a estas cuestiones sin complejos.

Lo siguiente sería estudiar la literatura académica referida a los impactos del calentamiento. La evidencia aquí es más difusa, porque estamos haciendo proyecciones inciertas para sociedades futuras que cambian rápidamente. No obstante, las investigaciones arrojan conclusiones que, sin duda, se nos antojarán inquietantes. Si tenemos una casa en la costa y leemos que el aumento del nivel del mar puede destrozarla, nos alarmaremos más. Lo mismo ocurrirá si somos aficionados al esquí y descubrimos que la temporada hábil se hará cada vez más corta.

No sólo eso. Imaginemos que nos preocupa la inmigración, un asunto que suele aparecer con relativa frecuencia entre las inquietudes que mueven a los republicanos. ¿Qué opinión tendremos ante el cambio climático si sabemos que, a raíz del mismo, se producirán migraciones forzosas que desplazarán a millones de personas, generando una presión mucho mayor en las fronteras? Y, por otra parte, si somos conservadores preocupados por

la familia, ¿cómo nos sentiremos al saber que nuestros hijos y nietos pueden quedarse sin conocer algunas de las maravillas naturales del mundo e incluso algunas obras del hombre que, a pesar de estar reconocidas como Patrimonio de la Humanidad, pueden desaparecer si el cambio climático continúa su avance descontrolado?

Si todas estas preguntas nos angustian, deberemos pasar a la acción. Pero en la esfera pública predominan soluciones que no nos convencen. Se habla de fijar límites a las emisiones y comerciar esas emisiones en un mercado de derechos. Desde el punto de vista que estamos defendiendo, seguramente nos preocuparán la captura del regulador, el trato de favor, la transferencia de ingresos a países con instituciones corruptas, las ventajas que pueden obtener grupos de presión hostiles al mercado... Como conservador, desconfío ante esta solución y recelo de un programa que implica permisos, regulaciones complejas y demás intervenciones políticas en el mercado.

Entonces, ¿podemos hacer una política climática de mercado? El *laissez faire* puro y duro no funciona, puesto que no abarca las externalidades negativas. Mi interés por la economía me deja clara esta cuestión. Pero, ¿qué política climática es consistente con esas lecciones y permite la mitigación sin el menoscabo del mercado? Al sondear las opiniones de los expertos, descubro que muchos de ellos defienden un impuesto a las emisiones de CO_2 y otros GEI. Sería el llamado «impuesto al carbono», un tributo de corte «pigoviano», es decir, pensado para corregir una externalidad negativa. La meta del gravamen sería elevar el precio de las emisiones de CO_2 para cubrir sus costes sociales e incentivar alternativas más limpias.

A priori, parece un buen comienzo. Pero, ¿qué opinan los economistas conservadores? Si me intereso por esta cuestión puedo encontrar una larga lista de expertos partidarios de esta solución: Martin Feldstein, economista jefe de Ronald Reagan, Michael Boskin, economista jefe de George H. W. Bush, Greg Mankiw, economista jefe de George W. Bush, Kevin Hassett, economista liberal de referencia vinculado al Instituto Norteamericano de la Empresa, Arthur Laffer, asesor fiscal de numerosos líderes republicanos, George Schultz, destacado economista de la Administración Reagan, Gary

Becker, economista de la Escuela de Chicago galardonado con un Premio Nobel... Todos ellos favorecen un impuesto al carbono porque consideran que es el enfoque más eficiente para frenar el calentamiento global.[263]

Cuando me refiero públicamente a esta cuestión, descubro que algunos de mis colegas conservadores no están entusiasmados con los impuestos al carbono. Ellos sostienen que tales políticas son un ejemplo más de la obsesión con intervenir el mercado en vez de permitir su operativa en libertad. Algo parecido es lo que dice la prensa. En *The Wall Street Journal* leo que «los impuestos crean incentivos artificiales que desvían la formación de capital desde soluciones productivas a esferas menos eficientes».[264]

Pese a esta oposición, creo que este tipo de argumentos se queda corto, porque no comprende la razón económica de los impuestos al carbono. Hoy, quienes queman combustibles fósiles disfrutan de un subsidio económico: simple y llanamente, no «pagan» por lo que «consumen». Aumentando el precio del carbono mejoramos la eficiencia económica, porque cancelamos esa subvención implícita que beneficia a los contaminadores.

Los gobiernos europeos han demostrado que se pueden aplicar impuestos a la energía y, al mismo tiempo, reducir los impuestos sobre el trabajo u otras actividades que merecen un alivio fiscal. Esto contribuye a reducir las emisiones de CO_2 y a mejorar el rendimiento económico general. Además, los impuestos al carbono pueden ayudar a reducir la deuda del gobierno sin golpear los incentivos para trabajar y ahorrar.

Para justificar esta solución podemos pensar en la gestión política del medio ambiente con la misma lógica que aplicamos a otros asuntos. ¿Acaso nos parece apropiado que el gobierno redistribuya gratis el recurso de recursos naturales? ¿No es eso tan irresponsable como permitir que los bancos sean irresponsables y luego reciban fondos públicos como «rescate»?

Por estas razones, creo que los republicanos tienen razones de sobra para sumarse a la causa climática. Desde la mirada liberal de la economía, permitir que las empresas emitan carbono a la atmósfera sin coste es un subsidio o, incluso, un derecho de dañar a los demás gratuitamente. Así, igual que subastamos los derechos del petróleo o el gas extraído de tierras

públicas, deberíamos poner fin a otros privilegios. Igual que no queremos que haya bancos «demasiado grandes para caer» y nos oponemos a su «rescate», tampoco puede haber contaminadores «demasiado grandes para pagar», capaces de emitir CO_2 y otros GEI sin pagar el coste del daño que generan.

Sé que muchos grupos empresariales se oponen a aceptar cualquier límite que afecte a sus actividades, particularmente aquellas corporaciones que están dañando el medio ambiente. Pero el político recto debe velar por el bienestar general y, desde el discurso conservador, no tiene sentido insistir en estos privilegios que nos dañan a todos a costa de proteger los beneficios de unos pocos.

Por tanto, desde una mirada republicana se puede defender perfectamente que los impuestos al carbono son una herramienta ideal, puesto que encaja con la agenda conservadora y conjuga la voluntad de proteger el planeta con la minimización del intervencionismo político en el mercado y las vidas de las personas. Este gravamen se puede imponer sin regulaciones ni restricciones onerosas, sin elegir «campeones nacionales» para que reciban subsidios «verdes», sin llenar de intervenciones todos los mercados... Y, a cambio, esa fijación del precio del carbono ayudará a frenar el calentamiento global. Es una solución efectiva y se puede plantear perfectamente desde una perspectiva de derechas.

26

Obstáculos para impulsar políticas de cambio climático

La ciencia y la economía del calentamiento global son claras. A menos que se tomen medidas efectivas, el planeta continuará calentándose. El resultado será un daño cada vez más grave para el medio natural y para las áreas más vulnerables de los sistemas humanos. Las políticas para frenar el cambio climático son económicamente simples, pero políticamente difíciles. Implican aumentar el precio del CO_2 y otros GEI, hasta armonizar su precio en todos los países y sectores.

¿Cuánto hemos avanzado en la implementación de una política efectiva? Si utilizamos los precios del carbono como métrica, lo cierto es que muy poco. Este libro plantea un precio de 25 dólares por tonelada de CO_2 para limitar el cambio climático a un calentamiento esperado para finales del siglo XXI de 2,5 grados centígrados por encima de los niveles preindustriales. Los precios reales del carbono a nivel global son hoy una fracción minúscula de eso (alrededor de 1 dólar por tonelada).[265] La cruda realidad es que se han dado pasos muy pequeños para desacelerar el calentamiento.

¿Por qué ha sido tan lento el progreso? David Victor, un politólogo pionero en estas cuestiones que imparte docencia en la Universidad de California en San Diego, explica que las políticas de calentamiento global están atrapadas en un atasco en el que la política, la economía, la «miopía» y el nacionalismo interactúan de manera perversa, logrando bloquear cualquier avance significativo.[266] En este último capítulo se analizan algunos de los obstáculos que seguimos encontrándonos en el camino hacia la adopción de políticas sensatas que lidien con el calentamiento global.

Prisioneros del nacionalismo

El primer conjunto de obstáculos es el nacionalismo económico. Los gobiernos se enfrentan a un dilema, porque los costes de la reducción de emisiones son nacionales, mientras que los beneficios de la desaceleración están dispersos por todo el mundo. Esta estructura de costes locales y beneficios distantes crea fuertes incentivos para vivir a costa de los más. El problema del *free rider* es grave, porque los gobiernos no quieren asumir el precio de ser responsables y, además, saben que se pueden beneficiar indirectamente de los ajustes que hagan sus vecinos.

Éste es el célebre «dilema del prisionero», que en este contexto puede denominarse «dilema nacionalista». Si cada país busca una estrategia que maximice el bienestar nacional, entonces la reducción resultante será más pequeña que en un escenario en el que cada país tome en cuenta los beneficios globales derivados de contener estos fenómenos climáticos.

Vale la pena explicar esta lógica con detalle, porque estamos ante un factor importante para las políticas internacionales de calentamiento global. Supongamos que hay cinco países idénticos y que una tonelada adicional de emisiones de CO_2 provoca un daño de 5 dólares en cada uno de los países implicados. Siguiendo un cálculo que se preocupe solamente por maximizar el interés nacional, los gobiernos reducirán emisiones siempre y cuando el coste sea inferior a 5 dólares por tonelada. Pero si todos los países siguen esta lógica, el resultado es un «equilibrio no cooperativo», como describe la teoría de juegos.

Es importante entender que una tonelada de emisiones del país A provoca dos tipos de daños: en el país A, causa un impacto de 5 dólares..., pero en los países B, C, D y E también inflige el mismo coste. Por tanto, los daños globales son de 25 dólares por tonelada, no sólo 5 dólares. De igual modo, aunque reducir una tonelada las emisiones cueste 5 dólares, los beneficios totales para los cinco países son de 25 dólares.

Varios estudios empíricos han examinado hasta qué punto el dilema nacionalista diluye la efectividad de las estrategias de calentamiento global. Estos trabajos confirman que el comportamiento nacionalista conlleva un nivel de reducción de emisiones sustancialmente menor que el que ocurriría

con políticas nacionales que tomasen en consideración el bienestar nacional pero también el bienestar global. He empleado el modelo DICE para calcular el precio óptimo global del carbono para 2020. Si cada país actúa solamente basándose en sus intereses domésticos, el coste de conseguir las reducciones totales se vuelve diez veces mayor.

Este dilema también tiene implicaciones para la consecución de grandes acuerdos internacionales. Los países no sólo tienen fuertes incentivos para desmarcarse de dichos pactos, sino que también los tienen para hacer trampa una vez han suscrito estos acuerdos. Ocultando las emisiones o exagerando las reducciones, mejoran su bienestar económico a costa de los demás. Supongamos que el país B ha acordado reducir sus emisiones hasta un punto en que los costos marginales sean de 25 dólares por tonelada. Sin duda, es un buen resultado para el mundo, pero el país B se ve obligado a asumir un coste neto de 20 dólares por tonelada. Por tanto, se crean incentivos que invitan a exagerar la reducción conseguida y pretender que se están cumpliendo las promesas.[267]

Si bien el dilema nacionalista es una dificultad intrínseca en las políticas globales de cambio climático, no es insalvable. Muchos países se han unido a acuerdos de cooperación que buscan superar estas tendencias negativas. El acuerdo para eliminar gradualmente los productos químicos que afectan a la capa de ozono es un buen ejemplo de que se pueden superar las tentaciones más negativas. La respuesta a este dilema pasa por establecer sanciones que superen el beneficio derivado de actuar por cuenta propia. El capítulo 21 plantea algo así cuando sugiere vincular los acuerdos climáticos a posibles sanciones comerciales.

Presos del presente

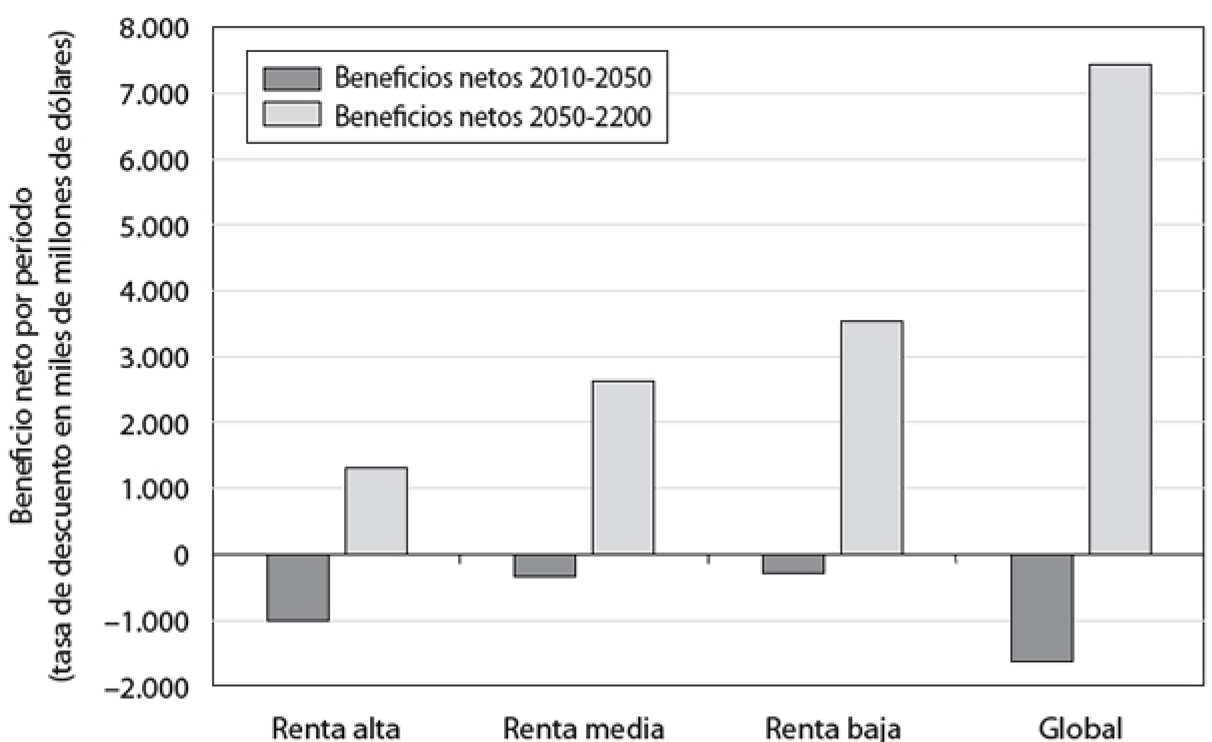
El dilema nacionalista se amplifica por un segundo factor: el largo plazo de los fenómenos climáticos. Las políticas que frenan el calentamiento global requieren una reducción costosa a corto plazo a cambio de aminorar los daños en un futuro muy lejano. Una estimación aproximada, discutida en la

cuarta parte del libro, apunta que los beneficios de las reducciones se darán alrededor de medio siglo después de que se materialicen las reducciones de las emisiones de GEI.

La figura 44 ilustra este punto mostrando el coste neto hasta 2050 y el beneficio neto en la segunda mitad del siglo XXI, asumiendo que se cumplen los límites de emisiones propuestos en el Acuerdo de Copenhague.[268] En el gráfico aparecen tres grupos de países (según su nivel de renta) y el saldo general para todo el mundo.

La medición de beneficios netos muestra que los costes de reducción son mayores que los beneficios en los cincuenta primeros años analizados. El cálculo corresponde a los compromisos fijados en Copenhague. La clasificación de renta obedece al ingreso per cápita. La medición del beneficio neto posterior a 2050 abarca la segunda mitad del siglo XXI y todo el siglo XXII.

FIGURA 44 **Las políticas climáticas compensan a largo plazo**



Nota: Los beneficios netos son negativos en una primera fase, pero arrojan beneficios a partir de entonces.

En todos los casos vemos que de 2010 a 2050 se esperan pérdidas netas. Por ejemplo, el Acuerdo de Copenhague prevé costes netos a corto plazo de 1,5 billones de dólares, de los que dos tercios corresponden a los países ricos. Los impactos netos para 2050-2200 arrojan beneficios netos de 1,3 billones de dólares para esas mismas economías desarrolladas, de modo que se compensa positivamente el esfuerzo de la primera mitad del siglo XXI. Para el resto de países, el coste inicial es menor y el beneficio a largo plazo es mayor. En conjunto, el coste es negativo en 1,6 billones dólares para 2010-2050, pero el beneficio para 2050-2200 es de 7,4 billones de dólares.[269]

Este planteamiento pone de relieve algunos detalles importantes. De entrada, el análisis global coste-beneficio muestra que cumplir un pacto como el de Copenhague puede ser muy beneficioso a largo plazo. Todos los países, ricos y pobres, saldrían ganando. Por tanto, el reto es crear el caldo de cultivo que permita concebir esta inversión como algo necesario para el largo plazo, puesto que la mayoría de los países deberá esperar al menos medio siglo para disfrutar los beneficios de esta apuesta.

Desde un punto de vista práctico, este escenario plantea un problema espinoso para la política a largo plazo. Las personas a menudo se resisten a hacer sacrificios por generaciones futuras. Estos debates siempre son complejos. ¿Priorizamos la educación de los jóvenes o la salud de los mayores? Los debates sobre preferencias temporales son parte de la política pública y, ahora también, de la conversación sobre la desaceleración del calentamiento global. Es difícil vender a las generaciones actuales que deben asumir ajustes hoy para conseguir réditos dentro de más de medio siglo. Y, no lo olvidemos, el coste de lidiar con el cambio climático es mayor conforme pasa el tiempo, de modo que el incentivo para desmarcarse de acuerdos generales también puede ir a más.

El tercer conjunto de obstáculos está ligado a la inevitable realidad de un fenómeno que arroja perdedores y ganadores. Por más ambiciosa que sea una política para enfrentar el calentamiento global, hay sectores que apenas sufrirán daños y otros que sí se verán afectados. Esto también ocurre en el

plano nacional. La abrumadora mayoría del planeta experimentará algún tipo de impacto, aunque el alcance varía mucho y dependerá de la región, el mix económico, etc.

Supongamos que Estados Unidos adopta límites de emisiones como los que figuran en el Acuerdo de Copenhague o como los que fueron propuestos por la Administración Obama en 2009. Según cálculos del Departamento de Energía, el uso de carbón disminuiría a la mitad en la próxima década. En el carbón, la reducción del empleo sería notable: pasaríamos de 90.000 mineros a 50.000. En una década, el sector perdería 4.000 puestos de trabajo cada año.

¿Tolerarán las empresas esa evolución? Como es lógico, no van a aceptar este devenir tan sencillamente. De hecho, la industria del carbón acostumbra a desarrollar intensas campañas de cabildeo en el Congreso, de modo que cuenta con muchos apoyos parlamentarios. Aumentar los precios del carbono reduciría la producción del sector y, con ello, sus niveles de empleo. Ante esto surgirá una fuerte oposición.[270]

Esto mismo es lo que ocurriría en otros sectores afectados. Las empresas afectadas por el encarecimiento del carbono no se resignarían a aceptar continuas disminuciones en sus ganancias. El efecto llegaría a distintas compañías energéticas, pero también a muchas industrias que dependen, en gran medida, de combustibles fósiles.

La tabla 15 proporciona un cálculo realizado por un equipo de modelación que pretendió medir el coste para distintas industrias de fijar un precio de 25 dólares por tonelada de CO_2 emitida.[271] Hay tres industrias que se verían muy afectadas y experimentarían un encarecimiento de costes superior al 10 por ciento: servicios públicos eléctricos, fabricación de cemento y productos petroquímicos.

La lista recoge las industrias más y menos afectadas. Para el comercio, el sector inmobiliario o las finanzas, los costes apenas se moverían. Esto aceleraría la entrada de capital y la creación de empleo en dichas esferas, absorbiendo el golpe sufrido por las industrias que sí contaminan de forma significativa.

En los países democráticos, los dirigentes públicos enfrentarán fuertes presiones para oponerse a medidas que perjudican directamente a los sectores que tienen más que perder. En el tablero geopolítico, Estados Unidos, China o Australia se mostrarán más reacios a aumentar el precio del carbón. Dentro de Estados Unidos, el grueso de la oposición vendrá de territorios como Virginia Occidental, Kentucky o Wyoming. De modo similar, exportadores de petróleo, muchos de ellos asociados a la OPEP, se resistirán a perder ingresos y no recibirán de buen grado una propuesta de ajuste de las emisiones de CO_2.

TABLA 15 **Impacto del precio del carbono por industria. Esta tabla muestra las industrias más y menos afectadas por la aplicación de un precio a las emisiones de carbono**

Industria	**Aumento en los costes de producción (%)**
Sectores más afectados	
Utilidades eléctricas	20,75
Fabricación de cemento	12,50
Productos petroquímicos	10,50
Aluminio	6,50
Hierro y acero	5,75
Cal y yeso	5,25
Fertilizantes	4,50
Celulosa	4,00
Cartón	4,00
Sectores menos afectados	
Equipos eléctricos y ordenadores	0,75
Otros equipos de transporte	0,75
Comercio minorista y mayorista	0,50
Servicios de la información	0,50
Servicios empresariales	0,50
Finanzas y seguros	0,25
Inmobiliario	0,25

Nota: El escenario simula que se fija dicho precio en 25 dólares por tonelada de CO_2. Los porcentajes reflejan los impactos totales (es decir, incluyen costes directos e indirectos).

En países como Reino Unido, Suecia o España, cuya producción y empleo dependen en muy baja medida de industrias basadas en el carbón, los gobiernos podrán apoyar políticas más agresivas en materia de calentamiento global, puesto que los políticos no tendrán el mismo temor que otros dirigentes internacionales a las quejas que puede despertar la agenda de mitigación en distintos sectores de la economía nacional. En la misma línea, aquellos países que importan la mayor parte de sus combustibles energéticos se enfrentarán con una opinión pública menos hostil a las políticas contra el cambio climático.

A largo plazo, las políticas contra el calentamiento global más exigentes benefician a la mayoría de las personas, incluso en países como Estados Unidos, donde hay sectores que sí saldrían afectados. Industrias como las finanzas o los productos farmacéuticos se beneficiarían ligeramente de un impuesto al carbono, pero el beneficio sería menor que el golpe sufrido por ramas de actividad cuyos representantes sí están bien organizados. De ahí la virtud del político que sepa actuar mirando el bienestar general y no sólo los intereses de una minoría.

¿Presos del interés económico?

Si bien los obstáculos inherentes a la democracia representativa son parte fundamental de una sociedad abierta, quizá el obstáculo más peligroso de todos viene de lo que Naomi Oreskes y Erik Conway definen como la «industria de la duda».[272] Ambos autores insisten en que los críticos de la ciencia buscan socavarla a base de sembrar todo tipo de dudas en torno a su solvencia. Se distorsionan hallazgos, se manipulan resultados y se recurre a teorías de la conspiración para intentar confundir al gran público y frenar la toma de medidas políticas basadas en conocimiento científico.

Un caso bien documentado en el que la «industria de la duda» operó a pleno rendimiento fue la campaña de las compañías de cigarrillos que intentaba combatir el consenso científico sobre el vínculo entre fumar tabaco y sufrir la enfermedad del cáncer. La evidencia existía desde tiempo

atrás y fue cobrando notoriedad desde mediados del siglo XX pero, a partir de 1953, las empresas de tabaco lanzaron una campaña que pretendía socavar todo ese acervo científico.

Quizá lo más retorcido de aquella campaña fue el hecho de que algunos investigadores médicos accedieron a trabajar a sueldo de la industria. Un alto cargo de la industria tabacalera reconoció la estrategia de forma abierta y un tanto cínica: «Nuestro producto es la duda, ésa es la mejor forma de competir con los argumentos que se han instalado en la mente del ciudadano medio. La duda nos permite establecer polémica y recuperar la iniciativa».[273]

Hay evidencia de una campaña similar en el debate sobre el calentamiento global, aunque no conocemos el alcance real de estas estrategias por la opacidad inherente a ellas. Lo que sí se puede afirmar es que estamos ante una maquinaria volcada en sembrar la duda en torno a la ciencia climática. Sabemos, por ejemplo, que una investigación periodística mostró pagos de ExxonMobil a distintas organizaciones que cuestionaban los argumentos científicos o económicos de las voces más autorizadas de la lucha contra el cambio climático. En total, dicha financiación superó los 8 millones de dólares.[274]

Otro ejemplo de lo importante que es la duda para quienes quieren poner en tela de juicio la ciencia climática lo tenemos en el artículo de los dieciséis científicos escépticos que publicó *The Wall Street Journal* y que viene recogido en el capítulo 24 del libro. Pocos miembros de dicho grupo han participado activamente en investigaciones científicas sobre ciencia o economía del cambio climático. Su especialización, por tanto, es la confusión climática, no la ciencia climática...

Una de las características más preocupantes de los ataques basados en grupos de interés sobre la ciencia y las políticas climáticas es que los riesgos ligados a su escepticismo son mucho mayores que los peligros del tabaco. En Estados Unidos, las ventas de tabaco rondan los 30.000 millones de dólares. Por contraste, los gastos en bienes y servicios energéticos rondan el billón de dólares.[275]

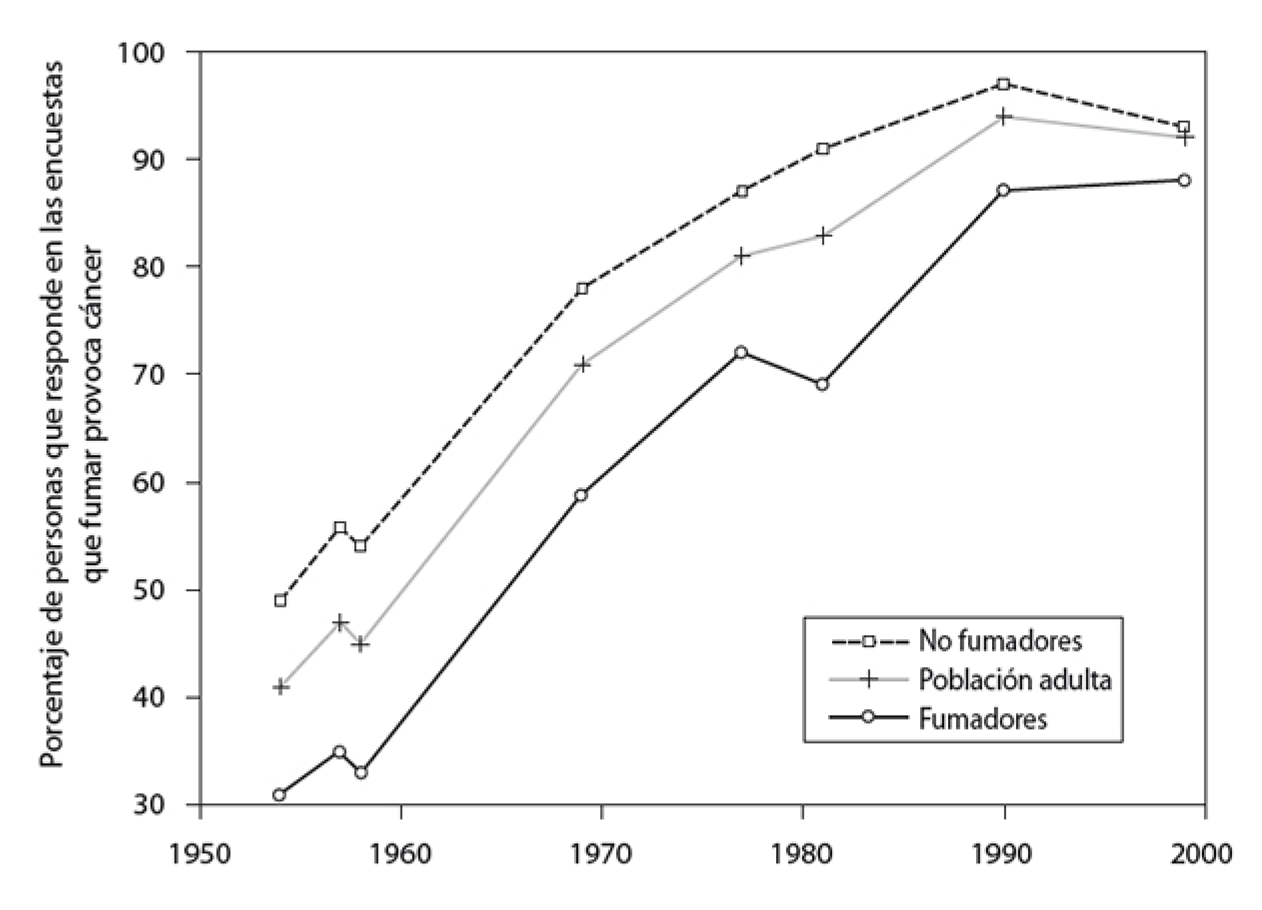
Un impuesto al carbono lo suficientemente grande como para suavizar la curva de aumento de la temperatura tendría importantes efectos económicos que afectarían a trabajadores, empresas y países. Pero el calentamiento global es un problema billonario, de modo que no se puede solucionar sin sacrificios y ajustes.

Superando los obstáculos

Los dos capítulos anteriores han analizado los obstáculos que dificultan el desarrollo de una política pública racional y efectiva en materia de cambio climático. Un ala sustancial de la política estadounidense se está moviendo en la dirección opuesta, a pesar de que el consenso científico está cada vez más asentado. Las poderosas fuerzas económicas que se oponen a la ciencia del cambio climático han enturbiado el debate público y han confundido al ciudadano medio con argumentos engañosos y afirmaciones de aparente solidez científica que no tienen detrás más que mentiras y manipulación.

Ésta no es la primera ocasión en que los hallazgos científicos se encuentran con una fuerte oposición. Probablemente tampoco será la última. Ya vimos cómo la industria tabacalera fomentó la «industria de la duda» para confundir al gran público y bloquear la toma de medidas contra el tabaco. Pero, al final, tras incansables esfuerzos, la verdad se fue abriendo paso. La figura 45 muestra la evolución de la opinión pública sobre la cuestión del cáncer y el tabaco. Tras medio siglo, hasta la gran mayoría de los fumadores suscribía la opinión defendida por la comunidad científica.[276]

FIGURA 45 **Los estadounidenses aceptaron de forma gradual la mirada científica que defendía que fumar provoca cáncer, a pesar de las campañas por parte del *lobby* del tabaco**



Para eliminar el hábito de fumar, se crearon impuestos específicos que ahora son también un caudal permanente de ingresos para Hacienda. Algo así puede acabar ocurriendo con el impuesto al carbono: tiene una lógica económica y medioambiental, pero además ayudará a reorientar procesos productivos y generará recursos para el Estado.

La lección para los científicos es clara. Las explicaciones claras y persistentes de la evidencia científica son la única forma de que la verdad se abra paso, pero el proceso es largo y complejo. Estoy convencido de que con el cambio climático ocurrirá lo mismo que con el tabaco. Al final, la postura obstruccionista será cada vez más difícil de sostener, a la luz de una montaña creciente de pruebas científicas concluyentes. Los vientos políticos terminarán soplando a favor de la lucha contra el calentamiento.

Un veredicto final

En este capítulo se presenta una discusión un tanto sombría pero tremendamente cruda y realista sobre el estado del debate climático y los obstáculos que dificultan el diseño de políticas eficientes y efectivas que ayuden a frenar el calentamiento global. Los gobiernos han avanzado poco a la hora de crear soluciones reales. Algunos de los obstáculos con los que lidian los políticos son estructurales, otros son económicos. Hay que entenderlos y superarlos.

Y, ahora que hemos llegado al final, ¿qué conclusiones podría sacar un jurado imparcial? El veredicto más justo reconocería que hay evidencia clara y convincente que permite afirmar que el planeta se está calentando. También sabemos que, a menos que se tomen medidas importantes, la Tierra experimentará un calentamiento mayor del que ha visto durante al menos medio millón de años. Por tanto, estamos jugando con fuego y podemos sufrir consecuencias muy graves y costosas, que tumbarán sistemas humanos y naturales. El balance de riesgos sugiere que tenemos que tomar medidas que nos ayuden a reducir las emisiones de CO_2 y otros gases de efecto invernadero.

Estos hallazgos deben ser evaluados constantemente, debido a las incertidumbres que están presentes en todas las etapas del análisis referido al vínculo entre la producción económica, el cambio climático y los impactos sobre el medio ambiente. Pero, de momento, los hallazgos básicos de la ciencia climática han resistido el paso del tiempo y no han sido refutados. Por tanto, la esfera política no puede ignorar estas conclusiones ni puede seguir sosteniendo que hace falta más evidencia o que los resultados no son lo suficientemente claros.

Los seres humanos estamos poniendo en peligro nuestro planeta, pero podemos tomar medidas que nos ayuden a deshacer el daño causado. La buena noticia es que esa rectificación se puede conseguir pagando un coste relativamente bajo. Para que así sea, debemos aceptar como cierta la amenaza del calentamiento global, implementar un mecanismo económico que penalice las emisiones de carbono y realizar esfuerzos constantes para desarrollar nuevas tecnologías bajas en carbono. Al tomar estos pasos,

recorremos el camino que nos permitirá seguir protegiendo la salud de nuestro precioso planeta. Si no exploramos esa vía, seguiremos jugando a la ruleta rusa.

Agradecimientos

De entrada, quisiera resaltar las destacadas contribuciones que hizo el economista Alan Manne, de la Universidad de Stanford, ya fallecido, en el campo de los modelos de estudio de la energía. Sus trabajos en este ámbito fueron pioneros, tanto en lo tocante a los métodos empleados como en lo relativo a los ejercicios de modelización basados en datos empíricos. También me gustaría extender este reconocimiento a otras muchas personas que han participado en el avance de esta disciplina y que han hecho sugerencias y críticas a mis trabajos. La lista incluye a George Akerlof, Lint Barrage, Scott Barrett, Joseph Boyer, William Brainard, William Cline, Noah Diffenbach, Jae Edmonds, Alan Gerber, Ken Gillingham, Jennifer Hochschild, Robert Keohane, Charles Kolstad, Tom Lovejoy, David Mayhew, Robert Mendelsohn, Nebojsa Nakicenovic, David Popp, John Reilly, Richard Richels, John Roemer, Tom Rutherford, Jeffrey Sachs, Herbert Scarf, Robert Stavins, Nick Stern, Richard Tol, David Victor, Martin Weitzman, John Weyant, Zili Yang, Janet Yellen y Gary Yohe. Además, quiero agradecer sus aportaciones a quienes, de forma anónima, han revisado mis investigaciones académicas a lo largo de los años.

Este libro fue pulido y refinado gracias al talento, el esfuerzo y la entrega incansable del personal de Yale University Press, en New Haven. Como autor, sus observaciones me han guiado y sus sugerencias han sido esenciales para mejorar la forma y la sustancia de *El casino del clima*. Quiero tener un agradecimiento especial con el editor jefe del proyecto, Jean Thomson Black, que ha conocido cada paso de la obra, desde los primeros borradores digitales hasta el libro final publicado en papel. Mi asistente durante el proceso ha sido Sara Hoover, que ha demostrado ser toda una experta en la resolución de problemas. También me ha sido muy útil el apoyo en la edición de manuscritos de Mary Pasti, así como la ayuda de Lindsey Voskowsky en todo lo relacionado con el diseño o el auxilio de

Maureen Noonan en todo lo ligado a la producción. Bill Nelson se encargó de las tareas artísticas, mientras que Debbie Masi y Westchester Publishing Services se encargaron de convertir archivos electrónicos en hermosas páginas impresas. Conocer más de cerca el arte de publicar libros me ha recordado aquello que decía Adam Smith cuando afirmaba que «la principal mejora del poder productivo del trabajo es el efecto que se deriva de la división del trabajo».

Quiero tener un recuerdo especial en memoria de mis profesores, algunos de los cuales fueron también mis colaboradores. El esfuerzo de académicos como Tjalling Koopmans, Robert Solow, James Tobin y Paul Samuelson fue vital para el desarrollo de investigaciones que terminaron siendo fundamentales para la emergencia del estudio científico de los efectos económicos del cambio climático.

Las investigaciones que me han ayudado a componer teorías como las que recoge este libro han contado con el generoso apoyo de la Universidad de Yale, la Fundación Nacional de las Ciencias, el Ministerio de Energía de Estados Unidos y la Fundación Glaser.

Esta obra no constituye un monográfico dedicado a nuevos trabajos de investigación, sino que ha sido concebida como un repaso a las principales conclusiones que han arrojado mis trabajos sobre esta materia, muchos de los cuales han sido publicados en el formato académico. En cualquier caso, buena parte de las explicaciones, gráficas y tablas incluidas en *El casino del clima* han sido creadas expresamente para esta obra.

Notas

1. Estas citas provienen de diversas fuentes: encuestas Gallup, informes de grupos de expertos de ideología conservadora, estudios sobre opiniones científicas y uno de los diarios más leídos de Estados Unidos.

2. Stephen Jay Gould, *Wonderful Life. The Burgess Shale and the Nature of History* (Nueva York, Norton, 1990).

3. Ver Salts Ponds Coalition, disponible en red en: <http://www.saltpondscoalition.org>.

4. Para comprobar la evolución del mar de Aral, puede emplearse esta herramienta de la NASA: <http://www.earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?=id3730>.

5. Para saber más sobre lo ocurrido en el mar de Aral y otros episodios paralelos como el del lago Chad, ver: Michael H. Glantz, «Lake Chad and the Aral Sea. A Sad Tale of Two Lakes», artículo publicado en Fragilecologies: <http://www.fragilecologies.com/archive/sep09_04.html>.

6. Cálculos del autor.

7. Los datos de emisiones de CO_2 provienen de las siguientes fuentes: Centro de Análisis de la Información sobre Dióxido de Carbono (CDIAC) y Administración de Información Energética (EIA) de Estados Unidos. Disponibles en red, en: <http://cdiac.ornl.gov> y <http://www.eia.doe.gov>. Las cifras del PIB previas a 1929 son de investigaciones varias, mientras que las posteriores a dichas fechas corresponden a la Oficina de Análisis Económico (BEA) estadounidense.

8. La ecuación más sencilla del clima es la siguiente: $(1 - a)S = 4\varepsilon\sigma T^4$. Aquí vemos la relación entre la temperatura terrestre (T) y factores como las constantes del Sol (S), la reflectividad de la Tierra (a) y otros parámetros físicos. Podemos resolver esta ecuación y así obtener una primera aproximación de la temperatura terrestre, pero dejaríamos fuera muchos detalles, puesto que no contemplamos la atmósfera, los océanos o las capas de hielo. Por eso empleamos modelos climáticos, porque añaden esas dimensiones a la ecuación de partida, de manera que permiten estudiar los fenómenos con mayor detalle. Cuando acudimos a estas herramientas obtenemos proyecciones integrales que abarcan más dinámicas climáticas.

9. Un libro muy destacado para conocer con mayor detalle los modelos climáticos es *A Vast Machine: Computer Models, Climate Data, and the Politics of Global Warming*, de Paul Edwards (Cambridge: MIT Press, 2010). En red, merece la pena consultar «The Discovery of Global Warming», de Spencer Weart, disponible en la web del Instituto Estadounidense de Física: <http://aip.org/history/climate/GCM.htm>.

10. Para simplificar, me refiero a los trabajos del modelo DICE como si todos hubiesen sido generados en una misma versión, aunque en realidad se han obtenido de distintos trabajos que, partiendo del mismo modelo, van incorporando mejoras y actualizaciones.

11. Para quienes tengan interés por las ecuaciones, ésta en concreto suele ser citada como la Identidad de Kaya o la Ecuación de Kaya. Lo que afirma es que podemos calcular las emisiones de CO_2 como el resultado de multiplicar la población por el PIB per cápita y la intensidad de uso de carbono del PIB: $CO_2 = P \times (PIB/P) \times (CO_2/PIB)$, donde CO_2 son las emisiones de dióxido de carbono, P es la población y PIB es el producto interior bruto en términos reales. Los cálculos se han realizado con el modelo RICE-2010. El simple cálculo muestra que el crecimiento logarítmico o geométrico del CO_2 equivale a la multiplicación de los tres parámetros de la ecuación. En términos estrictos, el resultado es algo inferior al que se obtiene con un cálculo más detallado, aunque la diferencia es anecdótica. Los cálculos son del autor.

12. He recurrido a los modelos IAM porque, en mi opinión, son los más científicos, transparentes y fieles a los datos empíricos. Muchos estudios en el campo de las ciencias naturales y, especialmente, en la rama de la ciencia y los modelos climáticos, recurren a proyecciones estándar que beben del *Informe especial sobre escenarios de emisiones*. La fuente de dichos trabajos es el IPCC: *IPCC Special Report on Emissions Scenarios* (SRES), editado por Nebojsa Nakicenovic y Rob Swart (Cambridge: Cambridge University Press, 2000).

13. La figura 5 recoge los resultados de once modelos consultados por el proyecto EMF-22 e incorpora una proyección del modelo RICE-2010 de Yale (línea con círculos). Para conocer con mayor detalle el proyecto EMF y sus resultados, ver: L. Clarke, C. Böhringer y T. F. Rutherford, «International, U.S. and E.U. Climate Change Control Scenarios: Results from EMF 22», *Energy Economics* 31 (2) (2009), pp. 63-306. L. Clarke me ha facilitado datos más detallados.

14. Richard Alley, *Earth: The Operator's Manual* (Nueva York: Norton, 2011); Stephen H. Schneider, Armin Rosencranz, Michael D. Mastrandrea y Kristin Kuntz-Duriseti (eds.), *Climate Change Science and Policy* (Washington: Island Press, 2010); James Hansen, *Storms of My Grandchildren: The Truth about the Coming Climate Catastrophe and Our Last Chance to Save Humanity* (Londres: Bloomsbury, 2009).

15. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) publica de forma periódica informes sobre cambio climático, mitigación, impacto y adaptaciones. El primer informe data de 1990, el segundo de 1995, el tercero de 2001, el cuarto de 2007, siendo el quinto de 2013. Cada publicación consta de tres volúmenes: «Ciencia», «Impactos» y «Mitigación». Los informes se pueden encontrar en la web del IPCC: <http://www.ipcc.ch>. También se editan en versión impresa a través de Cambridge University Press (Reino Unido). El informe citado en esta página es el cuarto: IPCC, *Fourth Assessment Report*, *Science*, p. 63.

16. Los datos provienen de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), el Laboratorio de Investigación del Sistema Terrestre (ESRL) y la División de Monitoreo Global (GMD). Su trabajo conjunto se recoge en el informe «Trends in Atmospheric Carbon Dioxide», disponible en: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends>. Los datos sobre el CO_2 atmosférico se toman de muchas fuentes y estas mediciones coinciden, en gran medida, con las de Mauna Loa. No obstante, ésta es una discusión simplificada, de modo que hay matices importantes que podrían hacerse a estos cálculos. Por ejemplo, omiten la conversión de uso en las tierras, en gran medida porque no hay datos de calidad referidos a dicha cuestión.

17. Hay una fracción de las emisiones de CO_2 que permanece en la atmósfera. Los modelos que estiman el ciclo del carbono estiman que ese CO_2 declina con el tiempo, porque los océanos lo absorben y diluyen. Además, parte del CO_2 es asumido por las plantas y los árboles. Estimar estos procesos de absorción es complicado: depende de la química, las dinámicas oceánicas, la biología... Investigadores de Alemania y Suiza han intentado estudiar esta cuestión. Su modelo calcula impactos para un período de 1.200 años. Suponiendo que se inyectan *x* toneladas de CO_2 en el año 0, el modelo asume que el porcentaje de ese CO_2 que permanece en la atmósfera es del 50-70 por ciento tras los primeros 50 años, del 35-55 por ciento tras los primeros 100 años, del 28-45 por ciento tras los primeros 200 años y del 15 por ciento tras los primeros 1.200 años. Para conocer el informe: G. Hoss et al., «A Nonlinear Impulse Response Model of the Coupled Carbon-Cycle Climate System (NICCS)», *Climate Dynamics* 18 (2001), pp. 189-202. Hay estimaciones alternativas del IPCC que hablan de una permanencia del 30-50 por ciento tras el transcurso de unos 100 años. En los modelos DICE-RICE 2010 de Yale se calibra una permanencia del 41 por ciento tras el primer siglo de espera.

18. Un resumen especialmente útil es el de Benjamin D. Santer en su comparecencia ante la Cámara de Representantes de Estados Unidos. Su declaración se enmarcó en la reunión del Comité de Ciencia y Tecnología celebrada el 17 de noviembre de 2010.

19. Conviene hacer una aclaración técnica para entender mejor la ciencia climática básica de estas cuestiones. La radiación solar en las capas más altas de la atmósfera se estima en 341 vatios por metro cuadrado. Dos tercios de la radiación entrante se absorbe por la superficie de la Tierra, que devuelve emisiones al espacio en forma de radiación de onda larga/infrarrojo. El impacto de una mayor concentración de GEI es una subida en la absorción de dicha forma de radiación. Así, se estima que duplicar el CO_2 presente en la atmósfera implica aumentar la radiación de la troposfera en unos 4 vatios por metro cuadrado. Si tenemos en cuenta todas las interacciones que se suceden, esto conduce a un aumento de las temperaturas de la superficie terrestre en torno a los 3 grados centígrados. De manera que el efecto invernadero es similar, aunque no equivalente, a un aumento de la radiación solar.

20. Las curvas de la figura 7 parten de las estimaciones incluidas en el *IV Informe de Evaluación* del IPCC. El *V Informe de Evaluación* generado por el Panel apenas introduce cambios al respecto. El rango de equilibrios de sensibilidad climática que incluyen los dieciocho modelos analizados para el *V Informe de Evaluación* va de 2,1 a 4,7 grados centígrados. He suavizado las curvas para mejorar y simplificar la presentación del gráfico. Dicha mejora se hace suponiendo que la distribución de las estimaciones sigue patrones medios y de dispersión similares a los resultados de los modelos. Para saber más, ver: Timothy Andrews, Jonathan M. Gregory, Mark J. Webb y Karl E. Taylor, «Forcing, Feedbacks and Climate Sensitivity in CMIP5 Coupled Atmosphere-Ocean Climate Models», *Geophysical Research Letters* 39 (2012).

21. La primera encuesta realizada por la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos se hizo en 1979 y arrojó resultados similares a los hallazgos recientes del IPCC. Ver: *Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment* (Washington: National Academies Press, 1979).

22. La respuesta a medio y largo plazo no se determina de forma tan precisa porque implica estimar muchas dinámicas que responden a procesos de retroalimentación que se desarrollan con cierta lentitud, caso del derretimiento de las capas de hielo o la evolución de sistemas complejos como la circulación de las corrientes oceánicas.

23. Los datos de temperatura provienen del Instituto Goddard de Estudios Espaciales (GISS), el Centro Nacional de Datos Climáticos (NCDC) y el Centro Hadley de Predicciones Climáticas e Investigación (HCCPR).

24. Siguiendo lo que indican las estimaciones para 2010, estos modelos asumen que el grueso del calentamiento está y estará ligado al CO_2. No obstante, es importante seguir midiendo el impacto de otras emisiones, puesto que no sabemos si su incidencia puede ir a más con el paso del tiempo.

25. Aunque muchos de los modelos IAM de la rama EMF-22 desglosan la trayectoria planteada para las temperaturas, también es cierto que suelen excluir algunos GEI o incluso los aerosoles. En la figura 9 se analiza la concentración de CO_2 que indican estos modelos. Para ampliar el foco y considerar otros GEI, se incorporan las proyecciones del modelo RICE-2010. Los modelos incorporados son los de los proyectos ETSAP-TIAM, FUND, GTEM, MERGE Optimistic, MERGE Pessimistic, MESSAGE, MiniCAM-BASE, POLES, SGM y WITCH. Para una descripción detallada de los mismos, ver: L. Clarke, C. Böhringer y T. F. Rutherford, «International, U.S. and E.U. Climate Change Control Scenarios: Results from EMF 22», *Energy Economics* 31 (2) (2009), pp. 63-306.

26. Así lo indica el *IV Informe de Evaluación* del IPCC, en el capítulo 8 de su volumen dedicado al ámbito científico. En lo referido a los aerosoles, recomiendo consultar los trabajos de Jeff Tollison, por ejemplo «Climate Forecasting: A Break in the Clouds», *Nature* 485 (2012), pp. 164-166. Para la discusión sobre eventos extremos, ver: Christopher B. Field et al. (eds.), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Cambridge: Cambridge University Press, 2012).

27. Para conocer la «ruleta rusa» de los investigadores del MIT, ver: David Chandler, «Climate Change Odds Much Worse Than Thought», MIT News, 19 de mayo de 2009. Disponible en: <http://web.mit.edu/newsoffice/2009/roulette0519.html>.

28. El proxy empleado para las temperaturas proviene del proyecto GISP2. Ver: R. B. Alley, *GISP2 Ice Core Temperature and Accumulation Data*, IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series, #2004-013, NOAA/NGDC Paleoclimatology Program.

29. Este concepto se lo debo a Johan Rockstrom et al., «Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity», *Ecology and Society* 14 (2) (2009). Disponible en: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>.

30. Agradezco a mis pupilos de Yale su ayuda a la hora de trazar este diagrama.

31. «Técnicamente, un cambio climático abrupto ocurre cuando el sistema climático rebasa un determinado punto de inflexión que dispara la transición a un nuevo equilibrio que viene determinado por el propio sistema climático.» National Academic of Sciences, *Abrupt Climate Change: Inevitable Surprises* (Washington: National Academies Press, 2012). Agradezco a Richard Alley las explicaciones que me ha brindado para ayudarme a entender mejor este tipo de fenómenos geofísicos.

32. Dornbusch ha observado con detalle la cuestión de los puntos de inflexión y la dimensión matemática de los «sistemas catastróficos». Ver, por ejemplo: Rudi Dornbusch y Stanley Fischer, «International Financial Crises», *CESifo Working Paper* 926 (marzo de 2003). A menudo podemos predecir que se van a suceder ciertas situaciones peligrosas, pero no podemos anticipar cuándo se desencadenarán. En esta línea, mucha gente dice que anticipó la crisis financiera de 2007-2009, pero a menudo se refieren a anuncios genéricos de una recesión, no a comentarios precisos que anticipasen causas exactas y un calendario previsible. Paul Samuelson suele bromear sobre esta cuestión diciendo que «los mercados han anticipado con acierto nueve de las últimas cinco crisis»... Por eso merece la pena pensar en el ejemplo de la canoa. Sabemos que si nos giramos más y más hacia a un lado, tarde o temprano nos caeremos al agua. Si pudiésemos predecir el punto exacto, en ese momento regresaríamos a la posición de partida y no nos mojaríamos.

33. Para un buen resumen de la evidencia disponible, ver: Jonathan T. Overpeck et al., «Paleoclimatic Evidence for Future Ice-Sheet Instability and Rapid Sea-Level Rise», *Science* 311 (5768) (2006), pp. 1.747-1.750. Un ejemplo lo tenemos en el acelerado ANM de hace 14.600 años. No se conocen aún las razones, pero sí se cree que algo tuvo que ver la capa de hielo de la Antártida Occidental. Ver: Pierre Deschamps et al., «Ice-Sheet Collapse and Sea-Level Rise at the BØlling Warming 14.600 Years Ago», *Nature* 483 (2012), pp. 559-564.

34. Ver: IPCC, *Fourth Assessment Report*, *Science*, p. 535 (tabla 7.4). Todo este epígrafe es de interés para esta cuestión.

35. Para conocer con mayor detalle este argumento, ver: James Hansen et al., «Target Atmospheric CO_2: Where Should Humanity Aim?», *Open Atmospheric Science Journal* 2 (2008), pp. 217-231.

36. Ver: «The Coral Reef Crisis: Scientific Justification for Critical CO_2 Threshold Levels of <350 ppm», Royal Society (Londres, julio de 2009).

37. Timothy M. Lenton et al., «Tipping Elements in the Earth's Climate System», *Nature* 105 (6) (2008), pp. 1.786-1.793.

38. Para saber más sobre los puntos de inflexión, recomiendo los trabajos de Lenton et al., y también las investigaciones actualizadas y simplificadas que han editado Katherine Richardson, Will Steffen y Diana Liverman en el libro *Climate Change: Global Risks, Challenges and Decisions* (Nueva York: Cambridge University Press, 2011), p. 186.

39. IPCC, *Fourth Assessment Report*, *Science*, p. 342 (datos referidos a las capas de hielo).

40. Ibíd, capítulos 6 y 10.

41. Un estudio encuentra tres escenarios de equilibrio, que asumen el 100, el 60 y el 20 por ciento del volumen actual. Para saber más, ver: Alexander Robinson, Reinhard Calov y Andrey Ganopolski, «Multistability and Critical Thresholds of the Greenland Ice Sheet», *Nature Climate Change* 2 (2012), pp. 429-432.

42. Frank Pattyn, «GRANTISM: An Excel Model for Greenland and Antarctic Ice-Sheet Response to Climate Changes», *Computers and Geosciences* (2006), pp. 316-325.

43. Dichos comportamientos no surgen de la noche a la mañana: dependen de los pasos previos que se han dado hasta llegar a dichos puntos de inflexión. Si doblamos un palo hasta romperlo, no podemos abstraernos de que su nueva forma, partido en dos, obedece a la presión que hemos ejercido en el mismo.

44. La evolución referida es el *IV Informe de Evaluación* del IPCC, en su volumen dedicado a los «Impactos».

45. Jared Diamond, *Collapse: How Societies Choose to Fail or Survive* (Nueva York: Viking, 2005). Versión castellana de Ricardo García Pérez, *Colapso: Por qué unas sociedades perduran y otras desaparecen* (Barcelona: Debate, 2013).

46. Sin embargo, el énfasis en la tabla 2 es ligeramente diferente al informe del IPCC, debido a que algunos de los problemas principales identificados por el Panel están, de hecho, bien administrados por el hombre y, por lo tanto, son campos menos propensos a un deterioro severo a largo plazo. Por ejemplo, gran parte del trabajo sobre los impactos tiene que ver con la agricultura, un campo que se gestiona cada vez más y que constituye una parte decreciente de las actividades económicas y humanas. De modo similar, el énfasis en las consecuencias para la salud tiene una visión muy estática del sistema sanitario (capítulo 8). Varios informes enfatizan también los efectos dañinos de la migración, pero sin tener en cuenta cómo ésta también actúa como una valiosa válvula de seguridad a la hora de aliviar las presiones de las regiones que se ven perjudicadas por los impactos ambientales. Ver: IPCC, *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability* (Cambridge: Cambridge University Press, 2007). De especial interés, el resumen para cargos públicos y el capítulo dedicado a los ecosistemas.

47. J. Hansen, M. Sato, R. Ruedy, P. Kharecha, et al., «Dangerous HumanMade Interference with Climate: A GISS Model Study», *Atmospheric Chemistry and Physics* 7 (2007), pp. 2.287-2.312. Este trabajo defiende el umbral de los 1,5 grados centígrados.

48. Las conclusiones sobre el crecimiento económico y el cambio climático son compartidas por todos los modelos de evaluación integrados, de manera que no sólo son características de los modelos RICE-DICE. Dos ejemplos ilustran este punto. En el *Informe Stern* sobre la economía del cambio climático, un análisis generalmente considerado pesimista, se pronostica que el crecimiento promedio de la producción en los siglos XXI y XXII será incluso más rápido de lo que se muestra en el modelo DICE de Yale. Incluso con las estimaciones de daños realizadas por el *Informe Stern*, los estándares de vida promedio crecerían al menos por un factor de más de once durante el período estudiado. Ver: Nicholas Stern, *The Economics of Climate Change. The Stern Review* (Nueva York: Cambridge University Press, 2007), capítulo 2. Otro ejemplo lo tenemos en el grupo de modelos empleado en el proyecto EMF-22. En este caso, el PIB por habitante estimado para el siglo XXI es del 1,7 por ciento anual. La tasa más baja de crecimiento de todas las regiones del mundo sería del 0,7 por ciento (así lo contempla el modelo MESSAGE en su análisis para Estados Unidos). Para los países de rentas bajas el crecimiento medio sería del 2,3 por ciento anual.

49. Los datos de consumo y de evolución del clima vienen del modelo RICE-2010 de Yale.

50. Éste es un buen ejemplo del poder del interés compuesto y del crecimiento acumulado, un tema que nos encontramos a menudo en este libro. Siguiendo esta línea, es útil que el lector conozca la llamada «Ley o Regla del 70». Esta norma establece que toda cantidad se duplica cuando crece un x por ciento anual durante ($70/x$) años. Así, por ejemplo, si la producción per cápita crece un 2 por ciento anual, entonces dicha rúbrica se duplicará cada 35 años. Si calculamos una dinámica así para seis períodos de 35 años, o 210 años, el crecimiento es un factor de (2 × 2 × 2 × 2 × 2 × 2) = 64. El crecimiento de un factor de 15,3 para el escenario de crecimiento a 200 años es, en realidad, una tasa de 1,37 por ciento por año.

51. Un analista que no comparte esta mirada es Herman Daly, editor de *Steady-State Economics* (2ª ed.) (Washington: Island Press, 1991).

52. Justin Gillis, «A Warming Planet Struggles to Feed Itself», *The New York Times*, 4 de junio de 2011.

53. Nicholas Stern, *The Economics of Climate Change. The Stern Review* (Nueva York: Cambridge University Press, 2007), pp. 85-86.

54. IPCC, *Fourth Asessment Report*, *Impacts*, pp. 10-11.

55. Ver, por ejemplo: Robert Mendelsohn y Ariel Dinar, *Climate Change and Agriculture: An Economic Analysis of Global Impacts, Adaptation, and Distributional Effects* (Londres: Edward Elgar, 2009). También recomendable: Ariel Dinar, Robert Mendelsohn, Rashid Hassan, James Benhin et al., *Climate Change and Agriculture in Africa: Impact Assessment and Adaptation Strategies* (Londres: EarthScan, 2008).

56. Para un buen análisis de la adaptación en el ámbito agrícola, ver: Norman Rosenberg, «Adaptation of Agriculture to Climate Change», *Climatic Change* 21 (4) (1992), pp. 385-405.

57. La figura 14 parte del *IV Informe de Evaluación* del IPCC, publicado en 2007.

58. Vemos en la figura que las adaptaciones aumentan el rendimiento en aproximadamente un 20 por ciento, en relación con un escenario de no adaptación. Aparte de la fertilización por el aumento del CO_2 atmosférico, los estudios suelen ignorar otras vías de adaptación. Así, no incluyen el cambio de cultivos o el uso de nuevas variedades genéticas, como tampoco abarcan la rotación de tierras en busca de usos no agrícolas. Además, no se considera el cambio tecnológico para mejorar la adaptación. Desde un punto de vista económico, sería sorprendente que no se produjeran adaptaciones durante un período de varios años y, de hecho, el número de adaptaciones asumidas por la mayoría de los estudios constata que las estimaciones no parten de un escenario con ciertas innovaciones productivas y operativas. Es probable, por tanto, que los estudios subestimen el alcance real de las adaptaciones durante las próximas décadas, sobre todo en situaciones en que las explotaciones estén bien administradas.

59. Los datos provienen de la Oficina de Análisis Económico (BEA), tabla 1.3.4 de sus series estadísticas. Disponible en: <http://www.bea.gov>. Estas series se refieren al precio del valor añadido en el sector primario en relación con el PIB total.

60. Ver: IPCC, *Fourth Assessment Report*, *Impacts*, p. 297. En el escenario de 3 grados centígrados, dos modelos anticipan una subida de los precios de los alimentos del 15 por ciento, mientras que otros dos anuncian una caída del 10 por ciento y uno apunta a un escenario de estabilidad.

61. La producción mundial de trigo en 2008 fue de 680 millones de toneladas, de las cuales aproximadamente 10 millones provenían de Kansas. Se estima que una disminución del 10 por ciento en la producción de Kansas elevaría los precios mundiales un 0,5 por ciento. Esto empujaría al alza los precios de los productos con trigo por un monto inferior al 0,1 por ciento.

62. De nuevo, datos de la Oficina de Análisis Económico (BEA), esta vez en la tabla 1.3.5. Disponible en: <http://www.bea.gov>. Las cifras para otros países proceden de los Indicadores del Desarrollo Mundial del Banco Mundial, disponibles en: <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-developmentindicators>.

63. El cálculo supone que el bienestar del consumidor sigue una función de utilidad lineal tanto para bienes agrícolas como para bienes no agrícolas. La participación en la función de utilidad se calibra utilizando la participación del PIB agrícola en el PIB total (de nuevo, tomado de la Oficina de Análisis Económico (BEA), tabla 1.3.5). Los precios de los alimentos contienen *inputs* no agrícolas sustanciales y suponen una proporción mayor. Este modelo asume que la elasticidad de precio de los alimentos es menos uno. En línea con dicha elasticidad, el tamaño del choque y la magnitud de la disminución son proporcionalmente mayores.

64. Aquí está el resumen del capítulo del IPCC sobre este tema: «Las tendencias proyectadas en lo tocante a la salud humana apuntan al aumento de la malnutrición y los trastornos derivados de la misma. Esto incluye males relacionados con el crecimiento y el desarrollo infantil, el aumento del número de personas que mueren o sufren enfermedades o lesiones por olas de calor, inundaciones, tormentas, incendios y sequías, el cambio de rango de algunos vectores de enfermedades infecciosas, la modificación de la evolución de la malaria (que se expandirá en unas zonas y se contraerá en otras, adquiriendo también nuevas temporadas de transmisión), el repunte de las enfermedades diarreicas, la subida de la mortalidad cardiorrespiratoria asociada con el ozono a nivel del suelo, el aumento del número de personas en riesgo de contraer el dengue... También puede haber beneficios para la salud como una reducción de las muertes por frío, pero se espera que los efectos negativos sean mucho mayores, especialmente en los países en vías de desarrollo». Ver: IPCC, *Fourth Assessment Report*, *Impacts*, p. 393.

65. Nicholas Stern, *The Economics of Climate Change. The Stern Review* (Nueva York: Cambridge University Press, 2007), p. 89.

66. Para saber más de la metodología, ver: Anthony J. McMichael et al., *Climate Change and Human Health: Risks and Responses* (Ginebra: Organización Mundial de la Salud, 2003).

67. Las estimaciones se basan en los escenarios de baja adaptación y de emisiones no restringidas. Los supuestos de temperatura en el estudio de la OMS corresponden a las proyecciones de emisiones y temperatura para 2050 recogidas por los modelos económicos revisados en la primera parte de este libro, por lo que generalmente los identifico como impactos esperados para mediados del siglo XXI. He recogido una gama de impactos diversos (de bajo, medio y alto alcance). Estas estimaciones se basan en la población y las tasas de mortalidad de 2004 y suponen un cierto crecimiento de los ingresos en las décadas venideras.

68. Para conocer estimaciones del impacto de las enfermedades en todo el mundo y en términos de DALY o años de vida saludable perdidos, ver: Christopher J. L. Murray y Alan D. Lopez, *Global Health Statistics* (Cambridge: Harvard School of Public Health, 1996). Hay investigadores que ajustan más las cifras para estimar los años de vida saludable y de calidad perdidos (indicador conocido como QALY), pero el criterio empleado en DALY es más aceptado porque es difícil objetivar la calidad de la salud.

69. Guy Hutton et al., «Cost-Effectiveness of Malaria Intermittent Preventive Treatment in Infants (IPTi) in Mozambique and the United Republic of Tanzania», *Bulletin of the World Health Organization* 87 (2) (2009), pp. 123-129.

70. Para realizar estos cálculos, tomé como fuente las estimaciones de Anthony J. McMichael et al. en *Climate Change and Human Health*.

71. Para preparar las estimaciones, tomé primero las estimaciones más altas de riesgo relativo desarrolladas por McMichael et al. en *Climate Change and Human Health*, empleando sus cálculos para 2030 y aplicando a dichas cifras el riesgo de mortalidad derivado de las cifras de la OMS que citan McMichael et al. en *Climate Change and Human Health: Risks and Responses* (Ginebra: Organización Mundial de la Salud, 2003). En cuanto a las estimaciones de temperatura, provienen del modelo RICE-2010 de Yale, que supone el mismo nivel de calentamiento en 2050 que McMichael et al. Por tanto, podemos etiquetar estas estimaciones de forma común como impactos esperados para 2050. Puede haber ciertas inconsistencias por los cálculos de uno y otro informe respecto al PIB. Ante las posibles discrepancias, se toma como referencia la cifra más alta para cada enfermedad y se analiza por defecto el supuesto que parte de la no mitigación de las emisiones. Si estableciésemos un promedio entre las referencias más altas y las más bajas, los resultados serían aproximadamente un 50 por ciento menores.

72. Los datos sobre esperanza de vida provienen del Banco Mundial y la ya citada página de los Indicadores del Desarrollo Mundial.

73. Cálculos del autor.

74. Esta estimación emplea datos detallados de la población de cada región y cifras de ingreso medio para dichos territorios. La base de datos empleada es GEcon, disponible en: <http://gecon.yale.edu>. Dicha base de datos parte de que el crecimiento promedio es similar al registrado en el modelo RICE-2010 para el África subsahariana.

75. IPCC, *Fourth Assessment Report*, *Impacts*, p. 409.

76. Robert W. Snow y Judy A. Omumbo, «Malaria», incluido en la segunda edición de *Disease and Mortality in Sub-Saharan Africa*, editado por D. T. Jamison et al. (Washington: Banco Mundial, 2006), capítulo 14.

77. World Health Organization, *World Malaria Report 2011* (Ginebra: WHO Press, 2011).

78. Ver capítulo 15. Para conocer gráficamente las diferencias entre distintos modelos climáticos, ver: IPCC, *Fourth Assessment Report*, *Science*, p. 812, figura 10.31. El rango de estimaciones del ANM va de 14 a 38 centímetros para el año 2100. Sospecho que el rango es tan notable por diferentes estimaciones del aumento de la temperatura global.

79. Christian Aid, *Human Tide: The Real Migration Crisis, A Christian Aid Report, May 2007*. Disponible en: <www.christianaid.org.uk/images/human-tide.pdf>.

80. Center for Naval Analyses, *National Security and the Threat of Climate Change* (Alexandria: CNA Corporation, 2007).

81. La estimación del ANM proviene de varias fuentes. Para el hielo terrestre, un estudio reciente sugiere aproximadamente 1,5 milímetros «extra» por año, mientras que las estimaciones relacionadas con la expansión térmica son de aproximadamente 0,5 milímetros adicionales cada año. La comparación de los escenarios del modelo RICE y los trabajos del IPCC aparece en la figura 16. Estas estimaciones se extraen del *IV Informe de Evaluación* del IPCC, en su volumen dedicado a la «Ciencia» (capítulos 5 y 10). La estimación para el siglo XXI es para el escenario A1B de IPCC-SRES, tabla 10.7, ibíd., p. 820. Se encuentran resultados similares para el escenario B2. El rango de expansión térmica para estos modelos es de 0,12 a 0,32 metros a lo largo del siglo XXI.

82. Un estudio ampliamente citado que muestra estimaciones de un mayor ANM es el que firma Stefan Rahmstorf y lleva por título «Sea-Level Rise», incluido en *Science* 315 (2007), pp. 368-370. He intentado volver a estimar las ecuaciones pero mi conclusión es que son estadísticamente poco confiables. No es un caso aislado. Los errores de pronóstico en las proyecciones del ANM son de aproximadamente 2 metros al alza o a la baja. Me refiero a estas cuestiones en «Alternative Policies and Sea-Level Rise in the Rice-2009 Model», un documento de mi autoría publicado por la Fundación Cowles en agosto de 2009. Estimaciones de 2013 indican desviaciones aún mayores que las comentadas hace ahora una década.

83. National Academy of Sciences, *Abrupt Climate Change: Inevitable Surprises* (Washington: National Academies Press, 2002).

84. El modelo RICE-2011 asume un ANM de 0,73 metros en 2100, lo que supone un nivel relativamente alto en comparación con otros modelos, aunque inferior a las proyecciones de Rahmstorf, «Sea-Level Rise», n. 89.

85. Cálculos del autor, a partir de la base de datos GEcon de Yale, que cubre cuestiones referidas a la geografía, la población y la producción económica de los distintos países del mundo. Ver: Yale University, «Geographically Based Economic Data (G-Econ). Disponible en: <http://gecon.yale.edu>.

86. James Hansen et al., «Target Atmospheric CO_2: Where Should Humanity Aim?», *Open Atmospheric Science Journal* (2008), pp. 217-231.

87. De nuevo, cálculos del autor con la base de datos GEcon de Yale.

88. La correlación entre la altitud y el ingreso per cápita es de −0,09. El ingreso promedio per cápita en las regiones de la «zona roja» era de 6.550 dólares en el año 2000, frente a los 6.694 dólares del resto de territorios ubicados a mayor altitud.

89. World Heritage Convention, «Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention». Disponible en: <http://whc.unesco.org/en/guidelines>.

90. Unesco, World Heritage Convention, *Case Studies on Climate Change and World Heritage* (París: Unesco World Heritage Centre, 2007). Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001506/150600e.pdf>.

91. Andrea Bigano, Francesco Bosello, Roberto Roson y Richard S. J. Tol, «Economy-wide Impacts of Climate Change: A Joint Analysis for Sea Level Rise and Tourism», *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 13 (2008), pp. 765-791. Las pérdidas en 2050 no llegarían al 0,1 por ciento del PIB mundial.

92. Este punto tan importante fue descubierto en una serie de estudios pioneros realizados por Gary Yohe y sus colegas de investigación. Ver: Gary Yohe et al., «The Economic Cost of Greenhouse-Induced Sea-Level Rise for Developed Property in the United States», *Climatic Change* (1996), pp. 1.573-1.580.

93. El estudio de la carbonización oceánica es un campo nuevo. Fue descubierto casi por accidente por Ken Caldeira hace aproximadamente una década. Uno de los primeros estudios de impacto fue el realizado por el propio Ken Caldeira y Michael E. Wickett («Oceanography: Anthropogenic Carbon and Ocean pH», *Nature* 425 [2003], p. 365). El funcionamiento químico podría resumirse así: El CO_2 atmosférico se combina con el agua de los océanos para formar ácido carbónico (H_2CO_3), un compuesto que libera iones de hidrógeno positivos en el agua, disminuyendo así el pH (cambiando hacia la acidez); esta tendencia suele ser equilibrada por el efecto amortiguador de los iones de carbonato negativos (CO_3^{2-}) en el agua pero, a medida que se introduce más CO_2 en el sistema, las cantidades de carbonato amortiguador disminuyen, lo que también conduce a un estado de saturación más bajo de carbonato de calcio ($CaCO_3$).

94. Para conocer uno de los primeros estudios sobre este tema: Richard A. Feely et al., «Impact of Anthropogenic CO_2 on the $CaCO_3$ System in the Oceans», *Science* 305 (2004), pp. 362-366. Para un análisis didáctico y accesible: Scott C. Doney et al., «Ocean Acidification: The Other CO_2 Problem», *Annual Review of Marine Science* (2009), pp. 169-192.

95. C. L. Sabine, R. A. Feely, R. Wanninkhof y T. Takahashi, «The Global Ocean Carbon Cycle», *Bulletin of the American Meteorological Society* 89 (7) (2008), p. 58. Para una representación gráfica, ver: S. Neil Larsen, «Ocean Acidification —Ocean in Peril», Project Groundswell, 24 de enero de 2010. Disponible en: <http://projectgroundswell.com/2010/01/24/ocean-acidificationocean-in-peril/>.

96. Philip L. Munday et al., «Replenishment of Fish Populations is Threatened by Ocean Acidification», *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107 (29) (2010), pp. 12.930-12.934. Según este trabajo, las larvas expuestas a CO_2 elevado son más activas y muestran un comportamiento más arriesgado en el hábitat natural de los arrecifes de coral. Como resultado, experimentan entre cinco y nueve veces más mortalidad asociada a la actuación de los depredadores.

97. El contenido de este capítulo bebe de un artículo académico que publiqué en 2010: William Nordhaus, «The Economics of Hurricanes and Implications of Global Warming», *Climate Change Economics* 1 (1) (2010). Para conocer estudios científicos relevantes en este ámbito, ver: Kerry A. Emanuel, «The Dependence of Hurricane Intensity on Climate», *Nature* 326 (1987), pp. 483-485; Thomas R. Knutson y Robert E. Tuleya, «Impact of CO_2-Induced Warming on Simulated Hurricane Intensity and Precipitation: Sensitivity to the Choice of Climate Model and Convective Parameterization», *Journal of Climate* 17 (18) (2004), pp. 3.477-3.495.

98. Los datos son del autor y provienen de estimaciones del Servicio Meteorológico Nacional y el Centro Nacional de Huracanes y de distintas consultas de archivo.

99. Robert Mendelsohn, Kerry Emanuel, Shun Chonabayashi y Laura Bakkensen, «The Impact of Climate Change on Global Tropical Cyclone Damage», *Nature Climate Change* (publicado online el 15 de enero de 2012). Datos aportados por los autores.

100. Las fuentes de las estimaciones sobre el capital vulnerable al cambio climático provienen de: William Nordhaus, «The Economics of Hurricanes and Implications of Global Warming». Los cálculos del stock de capital son de la Oficina de Análisis Económico, en su serie «National Economic Accounts», disponible en: <http://www.bea.gov/national/index.htm#fixed>. La tasa de depreciación se estima a partir del trabajo «The Measurement of Depreciation in the U.S. National Income and Product Accounts», firmado por Barbara M. Fraumeni en *Survey of Current Business* (1997), pp. 7-23. La metodología ligada a la estimación de los niveles de reemplazo del capital proviene de: Gary Yohe et al., «The Economic Cost of Greenhouse-Induced Sea-Level Rise for Developed Property in the United States», *Climatic Change* (1996), pp. 1.573-1.580.

101. Anthony D. Barnosky et al., «Has the Earth's Sixth Mass Extinction Already Arrived?», *Nature* 471 (2011), pp. 51-57. Este artículo ofrece un excelente comentario del estado del conocimiento sobre esta cuestión y una rica sugerencia bibliográfica que puede añadir mucho más contexto al lector interesado.

102. M. E. J. Newman y Gunther J. Eble, «Decline in Extinction Rates and Scale Invariance in the Fossil Record», *Paleobiology* 25 (4) (otoño de 1999), pp. 434-439.

103. Las estimaciones sobre los niveles actuales de extinción varían mucho. Por la banda baja, un cálculo detallado es el que ofrecen Fraser D. M. Smith et al. Abarca desde el año 1600 y detecta una merma de 1.100 especies equivalente a un descenso anual del 3 por ciento. Ver: Fraser D. M. Smith et al., «How Much Do We Know about the Current Extinction Rate?», *Trends in Ecology and Evolution* 8 (10) (1993), pp. 375-378. Sin embargo, hay análisis teóricos que, empleando otros modelos, encuentran cifras mucho mayores, de 120.000 especies perdidas cada año. Ver: N. Myers, «Extinction of Species», *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences* (Nueva York: Pergamon, 2001), pp. 5.200-5.202. Si buscamos una fuente oficiosa, podemos acudir a la *Lista Roja* que elabora la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN). En 2011-2012 dicha organización reclasificó nueve especies que se consideraban extintas pero que, según se pudo constatar, seguían existiendo, aunque bajo un peligro crítico de desaparición. De igual modo, cuatro especies fueron reclasificadas en sentido inverso. En cualquier caso, lo que pretendo explicar es que las estimaciones varían sobremanera, desde el punto de que podemos hablar de cuatro especies perdidas en un año..., o de 100.000 especies extinguidas en el curso de doce meses. Por tanto, hablamos de un ámbito en el que la precisión y la claridad brillan por su ausencia.

104. Las estimaciones son particularmente inciertas debido a las dificultades que surgen a la hora de identificar extinciones o de determinar la probabilidad de que, en efecto, se produzca la desaparición total de la especie. Las estimaciones más completas son proporcionadas por la *Lista Roja* mencionada en la nota al pie anterior. La IUCN establece distintas categorías: especie extinta, especie extinta en la naturaleza, especie en peligro crítico, especie en peligro, especie vulnerable o especie en situación de riesgo reducido. La mayoría de los análisis referidos a la amenaza de extinción incluyen todo tipo de escenarios, desde las situaciones críticas a las advertencias sobre posibles vulnerabilidades. ¿En qué se diferencia una categoría de otra? Por ejemplo, cuando se habla de una especie en «peligro crítico», se tiene que dar cualquiera de los cinco siguientes criterios, expresados aquí de forma resumida y abreviada: a) reducción de su población del 80 por ciento, bien en el pasado reciente, bien en las proyecciones a futuro; b) confinamiento de su existencia a espacios de menos de 100 kilómetros cuadrados (o grado de ocupación conjunta inferior a los 10 kilómetros cuadrados); c) población inferior a las 250 unidades adultas, o sesgo a la baja que indique que se pueden alcanzar dichos niveles censales; d) población inferior a las 50 unidades adultas y maduras; e) análisis cuantitativo que apunte a una probabilidad de extinción de al menos un 50 por ciento para los próximos diez años o las próximas tres generaciones (tomando como referencia el período más largo). Por el contrario, cuando se habla de que la especie está en «peligro» pero no se clasifica dicho riesgo como crítico, los criterios cuantitativos son otros. Por ejemplo, se considera una probabilidad de extinción de al menos un 20 por ciento para los próximos veinte años o las próximas cinco generaciones (de nuevo, tomando como referencia el período más largo). «Vulnerable» tiene criterios similares. En este caso, uno de los parámetros es que la probabilidad de extinción a cien años sea del 10 por ciento o superior. En cualquier caso, una debilidad importante de este esquema de clasificación es que sólo considera entornos salvajes, de modo que una planta que está en peligro en dichos espacios pero que se cultiva cada vez más en entornos de cultivo humano figuraría como una especie en peligro, a pesar de que su extinción no es probable debido a la actividad del hombre. En 2012, esta metodología concluyó que, de 63.837 especies analizadas, 19.817 están en peligro de extinción. De dicha cifra, 3.947 se situaban en la zona «crítica», 5.766 en la zona de «peligro genérico» y el resto figuraban como «especies vulnerables».

105. Ver: Anthony D. Barnosky et al., «Has the Earth's Sixth Mass Extinction Already Arrived?», *Nature* 471 (2011), pp. 51-57. Siguiendo las indicaciones de la IUCN, las especies en peligro son todas las que van de una situación vulnerable a un escenario crítico. Los nombres biológicos de los grupos incluidos en la figura 21 son, de izquierda a derecha: *Aves*, *Chondrichthyes*, *Decapoda*, *Mammalia*, *Scleractinia*, *Reptilia*, *Coniferopsida* y *Amphibia*. Como referencia, los números de especies conocidas incluyen 5.490 mamíferos, 10.027 aves, 837 corales y 618 coníferas.

106. Chris D. Thomas et al., «Extinction Risk from Climate Change», *Nature* (2004), pp. 145-148.

107. Un análisis ejemplar que explica con brillo la metodología empleada es «One-Third of Reef-Building Corals Face Elevated Extinction Risk from Climate Change and Local Impacts», de Kent E. Carpenter et al., publicado en *Science* 321 (2008), pp. 560-563.

108. Es importante matizar la afirmación de que el grueso de los desarrollos farmacéuticos se obtiene de selvas tropicales y entornos similares. La realidad es más compleja y arroja conclusiones más modestas. Los siguientes párrafos se ocupan de clarificar esta cuestión.

109. David J. Newman y Gordon M. Cragg, «Natural Products as Sources of New Drugs over the 30 Years from 1981 to 2010», *Journal of Natural Products* 75 (3) (2012), pp. 311-335. Igualmente de interés, un trabajo de investigación que aún no se ha publicado pero al que he tenido acceso gracias a dos de mis estudiantes de Yale, que son también sus autores: Hesu Yang y Gang Chen, «Economic Aspects of Natural Sources of New Drugs» (2012).

110. Desarrollé estas ideas junto a Paul Samuelson en: Paul Samuelson y William Nordhaus, *Economics* (19ª ed.) (Nueva York: McGraw-Hill, 2009).

111. Agradezco a Kerry Smith los comentarios y sugerencias que me ha hecho sobre estas cuestiones. Para un análisis interesante del reto de valorar especies o ecosistemas, ver: *Valuing Ecosystem Services: Toward Better Environmental Decision-Making*, documento publicado por el Consejo Nacional de Investigaciones (NRC) (Washington: National Academies Press, 2004).

112. D. F. Layton, G. M. Brown y M. L. Plummer, «Valuing Multiple Programs to Improve Fish Populations» (1999).

113. Para un buen resumen de este debate, recomiendo el número 26 de *Journal of Economic Perspectives*, publicado en otoño de 2012. Disponible en: <http://www.aeaweb.org/articles.php?doi=10.1257/jep.26.4>. Para entender mejor las dudas que genera el reto de realizar este tipo de valoraciones, podemos fijarnos en lo ocurrido en 1989, cuando se produjo el derrame del *Exxon Valdez*, un buque de la petrolera Exxon que encalló en Alaska portando 1,5 millones de barriles de crudo. Un grupo de analistas estimó que los daños causados en el medio ambiente fueron de 3,8 millones de dólares, mientras que otro grupo de expertos elevó la cifra a 4.900 millones de dólares. La clave estaba en incluir las externalidades: los primeros no lo hicieron y los segundos sí. Ver: Catherine L. Kling, Daniel J. Phaneuf y Jinhua Zhao, «From Exxon to BP: Has Some Number Become Better Than No Number?», *Economic Perspectives* 26 (otoño de 2012), pp. 3-26.

114. Sean Nee y Robert M. May, «Extinction and the Loss of Evolutionary History», *Science* 278 (5338) (1997), pp. 692-694.

115. Martin Weitzman ha estudiado estos temas en detalle y ha concluido que la clave radica en resolver un dilema que él describe como «el problema del Arca de Noé». Según dicho planteamiento, lo más difícil es elegir qué especies deseamos preservar. Ver: Martin Weitzman, «Noah's Ark Problem», *Econometrica*, n. 66 (1998), pp. 1.279-1.298. Para un análisis de métricas alternativas, ver: Andrew Solow, Stephen Polasky y James Broadus, «On the Measurement of Biological Diversity», *Journal of Environmental and Economics Management* 24 (1993), pp. 60-68. Hasta la fecha, la aplicación efectiva y confiable de este tipo de aproximaciones sigue siendo poco satisfactoria.

116. Arthur Schopenhauer, *On the Basis of Morality* (Providence: Berghahn, 1955).

117. Los datos se refieren al valor creado por cada sector (calculado a base de tomar como referencia las ventas totales y restarle los costes de producción). Para la agricultura, por ejemplo, este indicador no incluye la compra de combustibles o fertilizantes. En el caso del sector inmobiliario, el análisis se divide en zonas costeras y de interior, para discriminar entre uno y otro escenario, cuya vulnerabilidad es muy distinta. Según los cálculos del modelo GEcon, de Yale, estimo que el 6 por ciento del PIB estadounidense se genera a menos de 10 metros sobre el nivel del mar. El porcentaje es similar en cuanto a la fracción de la población que reside en estas zonas más vulnerables. Los datos de producción industrial son de la Oficina de Análisis Económico (BEA). Los datos referidos a la superficie y la altitud son de Yale: <http://gecon.yale.edu>.

118. Banco Mundial, Indicadores del Desarrollo Mundial. Base de datos disponible en red: <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-developmentindicators>.

119. Cálculo de elaboración propia realizado a partir de datos aportados por Richard Tol en: «The Economic Impact of Climate Change», *Journal of Economic Perspectives* 23 (2) (2009), pp. 29-51. La estimación del modelo RICE-2010 también es de elaboración propia. El dato del IPCC viene del *III Informe de Evaluación*, pero aparece igualmente en el *IV Informe* (libro de «Impactos», sección 20.6.1).

120. Algunos estudios aplican ponderaciones de riqueza a las estimaciones, para tener en cuenta que 1 dólar de daños en regiones de ingresos bajos es más costoso que 1 dólar de daños en países de ingresos altos. Esto conduce a elevar el conteo final. Para entenderlo mejor, supongamos que tenemos dos regiones, A y B. Sus ingresos per cápita son, respectivamente, de 10.000 y 5.000 dólares. Por tanto, las pérdidas en B deberán ponderarse con las pérdidas en A multiplicando su alcance por dos. Los pesos relativos en el modelo RICE-2010 son ligeramente diferentes, pero la respuesta arroja un resultado similar. Frente a dicho paradigma, un cálculo no ponderado como el de la figura 22 toma simplemente las pérdidas totales y las divide por el ingreso global total. Por el contrario, un cálculo ponderado toma las pérdidas «por región» y las compara con la riqueza de dicha zona.

121. Richard Tol presenta en sus trabajos el daño incremental que tiene el calentamiento. Para 1 grado centígrado de calentamiento respecto a niveles industriales, el impacto es positivo, puesto que la producción por grado centígrado aumenta en 0,2 puntos porcentuales. Sin embargo, un calentamiento de 2 grados deprime dicha ratio en 2 puntos porcentuales, mientras que una subida de temperaturas de 3 grados genera un deterioro de 4,2 puntos porcentuales, y un calentamiento de 4 grados acarrea un 6,3 por ciento menos de producción relativa.

122. Según la tabla 6.3 de la Penn World Table (PWT), el ingreso por habitante de India se multiplica por 5,9 entre 1950 y 2010, mientras que en China se dan aumentos que van del 15 al 33, dependiendo de la metodología que empleemos. Ver: Alan Heston, Robert Summers y Bettina Aten, «Penn World Table 7.1», Center for International Comparisons of Production, Income and Prices at the University of Pennsylvania (noviembre 2012).

123. William Easterling, Brian Hurd y Joel Smith, *Coping with Global Climate Change: The Role of Adaptation in the United States*, Pew Research Center on Global Climate Change (2004). Los autores afirman que «la literatura académica disponible indica que la sociedad estadounidense puede adaptarse con ganancias netas o con costes moderados a un calentamiento comprendido en la banda inferior del rango que manejan los expertos, suponiendo que no hay cambios en la variabilidad del clima y que se cumplan las suposiciones más optimistas sobre la capacidad de adaptación. Sin embargo, con una banda mucho mayor de calentamiento, incluso las suposiciones más favorables sobre nuestra capacidad de adaptación ponen de manifiesto que muchos sectores experimentarían pérdidas netas y costes mucho más altos. Los umbrales que dispararán ese cambio a peor son inciertos. De igual modo, es incierto hasta qué punto un aumento en la frecuencia, intensidad o persistencia de los fenómenos meteorológicos extremos puede afectar a Estados Unidos».

124. ¿Cuánto costaría bombear agua para descargarla en la capa de hielo de la Antártida y así recompensar el aumento del nivel del mar? Mis cálculos apuntan a un desembolso que duplicaría el coste actual mundial de la generación de electricidad en todo el mundo. Cada año, invertiríamos el 10 por ciento del PIB global en estos procesos.

125. La primera discusión exhaustiva sobre geoingeniería se produjo en un informe del Comité de la Academia Nacional de Ciencias que, en 1992, se refería al cambio climático. Ver: National Research Council, *Policy Implications of Greenhouse Warming: Mitigation, Adaptation and the Science Base* (Washington: National Academies Press, 1992). Para un informe más reciente referido a diferentes estrategias de geoingeniería y a la distinción entre el manejo de la radiación solar y la eliminación de CO_2, ver: Royal Society, *Geoengineering the Climate: Science, Governance and Uncertainty* (2009).

126. Katharine L. Ricke, M. Granger Morgan y Myles R. Allen, «Regional Climate Response to Solar-Radiation Management», *Nature Geoscience* 3 (agosto de 2010), pp. 537-541.

127. John von Neumann, «Can We Survive Technology», *Fortune* (junio 1955).

128. La geoingeniería implica mucho más que la ciencia climática. Para saber más sobre sus aspectos políticos y sociales, ver: Edward A. Parson y David W. Keith, «End the Deadlock on Governance of Geoengineering Research», *Science* 339 (2013), pp. 1.278-1.279.

129. Las proyecciones a largo plazo son del Instituto Goddard de Estudios Espaciales (GISS) («Forcings in GISS Climate Model»). Disponible en: <http://data.giss.nasa.gov/modelforce/ghgases/>.

130. Los datos son del Centro de Análisis de Información sobre Dióxido de Carbono (CDIAC) («Fossil-Fuel CO_2 Emissions»). Disponible en: <http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/meth_reg.html>.

131. Los precios del crudo corresponden a la venta al por mayor. Los datos, al igual que las cifras de emisiones, son de la Administración de Información Energética (EIA) de Estados Unidos, para el año 2011. Disponible en: <http://www.eia.doe.gov>. Las cifras concretas de emisiones se pueden consultar en: <http://www.eia.doe.gov/environment/data.cfm#intl>.

132. Las estimaciones de la tabla son de elaboración propia. Es difícil establecer estos cálculos, en gran medida por su compleja interacción con la economía. En primer lugar se analizó el consumo energético de los hogares. A continuación se realizaron cálculos para el transporte por aire y carretera, con datos de la Administración de Información Energética (EIA) de Estados Unidos.

133. En Estados Unidos, la información sobre cuánto CO_2 y otros GEI emiten los procesos productivos de distintos bienes y servicios no ha sido calculada por organismos oficiales. Para establecer el cálculo hay que hacer un análisis *input-output* que cubre diversas industrias. Por ejemplo, si hablamos de nuestro calzado queremos saber cuánto caucho se empleó en su elaboración y, por otro lado, necesitamos saber cuántos años de uso efectivo tendrán dichos zapatos. Hay importantes limitaciones que dificultan el cálculo. Por ejemplo, si los bienes son importados, entonces es difícil tener datos de emisiones de CO_2. Un primer esfuerzo gubernamental por resolver estas lagunas fueron las tablas de análisis *input-output* que produjo el Departamento de Comercio de Estados Unidos («US Carbon Dioxide Emissions and Intensities over Time: A Detailed Accounting of Industries, Government and Households», septiembre de 2010).

134. Un buen punto de partida es el informe de la Academia Nacional de Ciencias que lleva por título *Limiting the Magnitude of Future Climate Change* (Washington: National Academies Press, 2010). Disponible en: <http://www.nap.edu>. Ver especialmente el resumen recogido en el capítulo 3, así como otros informes sectoriales que ofrecen un alto grado de detalle.

135. Energy Information Administration, «Levelized Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2011». Para conocer estimaciones de emisiones por kilovatio/hora, ver la base de datos de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos: <http://www.epa.gov/cleanenergy/energy-and-you/affect/air-emissions.html>.

136. Estos cálculos se hicieron con el modelo DICE-2012 de Yale. Otras estimaciones de este supuesto con cinco niveles distintos de complejidad aparecen recogidas en la página 826 del volumen de «Ciencia» del *IV Informe de Evaluación* del IPCC.

137. Massachusetts Institute of Technology, *The Future of Coal: Options for a Carbon-Constrained World*, 2007. Disponible en: <http://web.mit.edu/coal/The_Future_of_Coal.pdf>.

138. Ibíd.

139. Para una descripción tecnológica y muchas referencias de utilidad para entender este asunto, ver: D. Golomb et al., «Ocean Sequestration of Carbon Dioxide: Modeling the Deep Ocean Release of a Dense Emulsion of Liquid CO_2 -in-Water Stabilized by Pulverized Limestone Particles», *Environmental Science and Technology* 41 (2007), pp. 4.698-4.704. Disponible en: <http://faculty.uml.edu/david_ryan/Pubs/Ocean%20Sequestration%20Golomb%20et%20al%20EST%202007.pdf>.

140. Freeman Dyson, «The Question of Global Warming», *New York Review of Books* 55 (10) (12 de junio de 2008).

141. La idea del árbol sintético lleva años en desarrollo. La última propuesta conocida requiere enormes extensiones de superficie y grandes inversiones en equipamiento. Por este motivo, aún no ha sido probada a gran escala. Klaus Lackner lo explicó en su comparecencia ante el Congreso de Estados Unidos en febrero de 2010 («Air Capture and Mineral Sequestration»).

142. Ver: Ray Kurzweil, *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology* (Nueva York: Viking, 2005), versión castellana de Carlos García Hernández, *La Singularidad está cerca: Cuando los humanos transcendamos la biología*, Berlín: Lola Books, 2015. Los escépticos deben recordar que en 1960 una habitación llena de ordenadores reunía menos capacidad de procesamiento de datos que cualquier teléfono móvil moderno. Kurzweil sostiene que los paneles solares terminarán siendo tan económicos que podremos colocarlos en nuestra ropa y vestirlos para generar energía. Incluso habla de colocar enormes paneles solares en el espacio y transmitir la energía a la Tierra a través de ondas. El transporte de estos materiales se haría con un elevador espacial, creado con nanotubos de carbono, cuyo coste sería similar al de los aviones espaciales. En resumen: son ideas fascinantes, pero que tienen un largo camino por delante.

143. Mi vieja nevera emplea 1.000 kWh de energía cada año, mientras que la nueva consume la mitad. El ahorro de partida son 500 kWh. Si la generación de energía emite 0,6 toneladas de CO_2 por cada 1.000 kWh, el nuevo dispositivo ahorra 0,3 toneladas de CO_2 al año. La electricidad cuesta 0,10 dólares por kWh y mi nueva nevera tiene un precio de 1.000 dólares. Para diez años, el coste es de 1.000 dólares menos 50 dólares de ahorro anual en electricidad. Por tanto, el coste desciende a 500 dólares. Sin descuento, reducir una tonelada de CO_2 supone 500/3 = 167 dólares por tonelada de CO_2. El descuento hace más complicado el cálculo, porque tanto el ahorro en electricidad como el ahorro en emisiones de CO_2 se dan en el futuro. Consideremos el valor presente que tiene reemplazar el viejo equipo. Lo representamos como V = 1.000 – 50/(1.05) – 50/(1.05)2 – ... – 50/(1.05)9 = 595 dólares. Por tanto, con descuento, el coste de reducir las emisiones asciende a 595/3 = 198 dólares por tonelada de CO_2.

144. Elaboración propia.

145. Para un estudio importante sobre el impacto de la reducción del metano y el «carbono negro», ver: Drew Shindell et al., «Simultaneously Mitigating Near-Term Climate Change and Improving Human Health and Food Security», *Science* 335 (6065) (2012), pp. 183-189. El conjunto de medidas propuestas por los autores reduciría la temperatura global esperada para 2070 en 0,5 grados centígrados. Esto supone un coste relativamente bajo, puesto que conseguir dicho descenso por la vía del CO_2 sale más caro. Entre las propuestas incluidas en este trabajo, figuran las siguientes: control de las emisiones de CH_4 del ganado, principalmente a través de la digestión anaeróbica a escala del estiércol generado por el ganado vacuno y porcino; introducción de filtros de partículas diésel en los vehículos en carretera y fuera de carretera, como parte de un movimiento hacia la adopción mundial de los estándares Euro 6/VI; prohibición de la quema a cielo abierto de residuos agrícolas; sustitución de estufas para la incorporación de nuevas fórmulas más sostenibles; recuperación y utilización prolongada del gas empleado en la producción de petróleo y gas natural; separación y tratamiento de residuos municipales biodegradables a través del reciclaje, el compostaje y la digestión anaeróbica; recolección de gases en vertederos mediante técnicas de combustión y reutilización... Algunas de estas medidas requerirían intervenciones extensas en las actividades de millones de familias, mientras que otros cambios son más fáciles de implementar. El estudio incorpora un apéndice online, del que recomiendo la tabla S1, referida a estas cuestiones.

146. U.S. Energy Information Administration, «Energy Market and Economic Impacts of H.R. 2454, the American Clean Energy and Security Act of 2009», Report SR-OIAF/2009-05 (agosto 2009).

147. Las curvas de la figura 25 se basan en los cálculos de distintas fuentes, así como en diversas estimaciones de elaboración propia. Los modelos «de abajo hacia arriba» vienen recogidos en el *IV Informe de Evaluación* del IPCC (p. 77 del volumen de «Mitigación»), mientras que los modelos del enfoque económico beben del modelo RICE-2010 y del proyecto EMF-22.

148. Aquí tenemos un ejemplo de cómo los modelos de abajo hacia arriba pueden subestimar los costes. Al estimar el precio de reducir las emisiones de CO_2 actuando sobre las centrales eléctricas, a menudo asumimos que todas las centrales eléctricas son nuevas. Esto nos lleva a imputar una gran ventaja a las plantas de gas de bajas emisiones en relación con las plantas de carbón de altas emisiones. Pero, en realidad, para el capital existente, los costes de generación de carbón son más bajos que en las nuevas centrales de gas, por lo que el modelo de abajo hacia arriba anuncia reducciones de emisiones de coste negativo cuando, en realidad, dichas rebajas no se corresponden con la estructura de capital real de la economía.

149. Elaboración propia, a partir de la versión 2010 del modelo regional RICE.

150. Para los resultados del proyecto EMF-22, ver: Leon Clarke et al., «International Climate Policy Architecture: Overview of the EMF 22 International Scenarios», *Energy Economics* 31 (2009), pp. S64-S81. La comparación con el modelo RICE es compleja, porque los cálculos del EMF-22 incluyen sólo los gases que forman parte del Protocolo de Kioto, excluyendo aerosoles y otros GEI. Por tal motivo, los resultados del proyecto EMF-22 tienden a estimar mayores aumentos de las temperaturas.

151. Hay una diferencia interesante entre el descuento económico y la perspectiva visual. El tamaño de los objetos en el espacio es «inverso» a la distancia, mientras que los de las finanzas son «inversos» a la exponencial del tiempo. Por eso las perspectivas financieras tienen forma curva.

152. Estas cuestiones aparecen recogidas en mayor detalle en el *II Informe de Evaluación* del IPCC. Ver: Kenneth J. Arrow et al., «Inter-temporal Equity, Discounting, and Economic Efficiency», incluido en *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change* — Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, editado por J. Bruce, H. Lee y E. Haites (Cambridge: Cambridge University Press, 1995), pp. 125-144.

153. Uno de los primeros defensores de una tasa de descuento reducida fue William Cline en *The Economics of Global Warming* (Washington: Institute of international Economics, 1992). También ha abanderado esta causa el *Informe Stern* de Nicholas Stern. Ver: Nicholas Stern, *The Economics of Climate Change: The Stern Review* (Nueva York: Cambridge University Press, 2007). Estos estudios abogan por una combinación de supuestos sobre el crecimiento económico y la neutralidad generacional que conduce a una tasa de descuento muy baja. Para aquellos más interesados en los detalles de los cálculos del *Informe Stern*, aquí ofrezco un breve resumen. De entrada, asumimos un crecimiento poblacional nulo, un crecimiento constante en el consumo per cápita a una tasa g, y un entorno en el que no hay externalidades, riesgos, impuestos o «fallos del mercado». El análisis se basa en el modelo de crecimiento económico óptimo de Ramsey-Cass-Koopmans. El modelo funciona a partir de dos parámetros de preferencia: la tasa pura de preferencia temporal (ρ) y la elasticidad en la utilidad marginal del consumo o la aversión a la desigualdad (α). Este último es un parámetro que describe la velocidad a la que disminuye la utilidad marginal del consumo per cápita con un consumo más alto. Si se optimiza el bienestar social, entonces la ruta que nos lleva al equilibrio de largo plazo viene dada por $r = \alpha g + \rho$, donde r es la tasa de rendimiento del capital. En la configuración del *Informe Stern*, $g = 0{,}013$ por año y $\alpha = 1$. Asume que la tasa pura de preferencia temporal es $\rho = 0{,}001$ por año, para así reflejar la probabilidad de una extinción humana debido a colisiones con asteroides. Esto lleva a una tasa de descuento real de un 1,4 por ciento por año. Las características centrales de los supuestos de tasa de descuento baja son una tasa de preferencia de tiempo pura baja y una tasa de aversión de desigualdad baja. Este enfoque ha sido adoptado por el gobierno británico. Ver: HM Treasury, *The Green Book: Appraisal and Evaluation in Central Government* (Londres: TSO, 2011). Disponible en: <http://www.hm-treasury.gov.uk/d/green_book_complete.pdf>.

154. Recuerde que la mayoría de las proyecciones económicas utilizadas en los estudios de modelos asumen que los niveles de vida crecerán rápidamente en las próximas décadas. Para explicarlo numéricamente, supongamos que el consumo promedio crece a un 1,5 por ciento por año en el próximo siglo. Entonces, el ingreso global per cápita aumentaría de alrededor de 10.000 dólares a cerca de 44.000. Por tanto, al comparar costes y beneficios, estamos comparando personas que son relativamente pobres hoy con personas que son relativamente ricas dentro de un siglo.

155. Para un análisis de las tasas de rendimiento de activos alternativos, ver: Arrow et. al., «Intertemporal Equity, Discounting and Economic Efficiency». Es una visión un tanto anticuada, pero marcó el comienzo de este tipo de investigaciones.

156. Datos de la Oficina de Gestión Presupuestaria de Estados Unidos (circular A-94 del 29 de octubre de 192 y circular A-4 del 17 de septiembre de 2003).

157. Banco Mundial, Indicadores del Desarrollo Mundial: <http://databank.worldbank.org/ddp/home.do>.

158. Especialistas en estas cuestiones plantean también otras preguntas. ¿Deberían ser constantes las tasas de descuento a lo largo del tiempo? ¿Cómo podemos reflejar las incertidumbres a largo plazo? No existe unanimidad con respecto a estos problemas, pero la mayoría de los profesionales sostienen que es probable que la tasa de descuento disminuya con el tiempo. La razón principal es que la mayoría de las proyecciones de crecimiento anticipan un menor crecimiento de la población, mientras que sólo unas pocas anticipan un cambio tecnológico más lento a largo plazo. A medida que la economía se desacelera, un mayor porcentaje de nuestros ahorros se reserva para la profundización del capital, lo que tiende a disminuir el rendimiento del mismo. El tratamiento de la incertidumbre es más complicado y depende de la fuente de riesgo e incertidumbre. Si no estamos seguros de la senda que seguirá el crecimiento económico en un futuro, nuestros planes tenderán a otorgar más peso a los cálculos con tasas de descuento más bajas, puesto que éstos superan los niveles que se dan con tasas de descuento más altas. En muchos ejercicios de modelado, esto tiende a reducir la tasa de descuento promedio para los diferentes escenarios. Ambos efectos ocurren a muy largo plazo, durante inversiones que abarcan décadas o incluso siglos. El impacto neto generalmente es el de aumentar el valor de los daños distantes que se han evitado. Para un buen análisis de este tema, ver: Christian Gollier, *Pricing the Planet's Future: The Economics of Discounting in an Uncertain World* (Princeton: Princeton University Press, 2012).

159. Tjalling C. Koopmans, «On the Concept of Optimal Economic Growth», *Academiae Scientiarum Scripta Varia* 28 (1) (1965), pp. 225-287.

160. National Research Council, *Limiting the Magnitude of Future Climate Change*, America's Climate Choices (Washington: National Academies Press, 2010).

161. United Nations, «United Nations Framework Convention on Climate Change» (1992). Ver artículo 2. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>.

162. Ver: «Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change» (1997). Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.html>.

163. «Para lograr el objetivo final de la Convención Marco de estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida la interferencia antropogénica peligrosa en el sistema climático, reconoceremos la opinión científica de que el aumento de la temperatura global debe ser inferior a 2 grados centígrados, con la mirada puesta en la equidad, el desarrollo sostenible y la mejora de la acción colaborativa para combatir el cambio climático a largo plazo». Ver: Acuerdo de Copenhague (12 de diciembre de 2009). Disponible en: <http://unfccc.int/files/meetings/cop_15/application/pdf/cop15_cph_auv.pdf>.

164. European Union, «Limiting Global Climate Change to 2 Degrees Celsius» (10 de enero de 2007). Disponible en: <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/07/16>. Ver también: G-8 Information Center, «Declaration of the Leaders: The Major Economies Forum on Energy and Climate», L'Aquila Summit (julio de 2009). Disponible en: <http://www.g8.utoronto.ca/summit/2009laquila/2009-mef.html>.

165. Para saber más sobre el objetivo de los 2 grados centígrados, ver: Carlo Jaeger y Julia Jaeger, «Three Views of Two Degrees», *Climate Change Economics* 1 (3) (2010), pp. 145-166.

166. National Academy of Sciences, *Limiting the Magnitude of Future Climate Change* (Washington: National Academies Press, 2010).

167. Los datos de los núcleos de hielo proporcionan estimaciones de la temperatura de la Antártida. Dichas mediciones arrojan una temperatura promedio que sería aproximadamente 8 grados centígrados más baja que la actual, tomando como referencia el último período máximo glaciar, hace 20.000 años. Hay incertidumbre sobre la magnitud del calentamiento global en dicho período. El *IV Informe de Evaluación* del IPCC habla de un calentamiento de entre 4 y 7 grados centígrados desde dicha época. Ver: IPCC, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* (Cambridge: Cambridge University Press, 2007), p. 451. Un estudio reciente del último ciclo glaciar sitúa la diferencia en algo menos de 4 grados centígrados. Ver: Jeremy D. Shakun, Peter U. Clark, Feng He, Shaun A. Marcott, Alan C. Mix, Zhengyu Liu et al., «Global Warming Preceded by Increasing Carbon Dioxide Concentrations during the Last Deglaciation», *Nature* 484 (2012), pp. 49-54. En mis cálculos, asumo un calentamiento de 5 grados centígrados para alcanzar un punto de consenso razonable. A continuación, he calculado la temperatura antártica en temperaturas medias globales, asumiendo un factor de escala 5/8. El resultado es, probablemente, una buena representación de la evolución a largo plazo, aunque con algo menos de precisión en los movimientos de más resolución. Agradezco a Richard Alley sus consejos en este campo.

168. La estimación de la temperatura antes del período moderno se hace con proxies de temperatura. Los más utilizados para el pasado distante son los núcleos de hielo de Groenlandia, la Antártida y otras capas de hielo. Los datos han sido producidos por varios equipos de científicos que trabajan desde hace muchos años. Para una fuente primaria de relevancia, ver: J. R. Petit et al., «Climate and Atmospheric History of the Past 420,000 Years from the Vostok Ice Core, Antarctica», *Nature* 399 (1999), pp. 429-436. Para una mirada detallada, ver: Carbon Dioxide Information Analysis Center, U.S. Department of Energy, «Historical Isotopic Temperature Record from the Vostok Ice Core». Serie disponible en: <http://cdiac.ornl.gov/ftp/trends/temp/vostok/vostok.1999.temp.dat>.

169. William Nordhaus, «Economic Growth and Climate: The Carbon Dioxide Problem», *American Economic Review* 67 (febrero de 1977), pp. 341-346. En este artículo defendí, en cualquier caso, que hacían falta análisis más profundos que incorporasen el estudio del coste y el beneficio de las medidas adoptadas. Por aquel entonces no había grandes avances en dicho frente, de modo que se hacía preciso acudir a otras fórmulas.

170. German Advisory Council on Global Change, *Scenario for the Derivation of Global CO*2 *Reduction Targets and Implementation Strategies*, Statement on the Occasion of the First Conference of the Parties to the Framework Convention on Climate Change in Berlin (marzo de 1995). Disponible en: <http://www.wbgu.de/wbgu_sn1995_engl.pdf>.

171. IPCC, *Fourth Assessment Report*, *Impacts* (Technical Summary), p. 67.

172. Para una mirada al análisis coste-beneficio, ver: E. J. Mishan y Euston Quah, *Cost-Benefit Analysis* (Abington: Routledge, 2007).

173. Para los cálculos, tomé como referencia el modelo DICE-2012 y estimé costes y daños derivados de distintos supuestos de aumento de temperatura, con escenarios de participación universal o parcial. Los costes y daños se expresan después de forma anual, como una función de la renta para cada ejercicio.

174. Para estimar el tiempo que transcurre entre la emisión de GEI y el daño, apliqué una serie de supuestos al modelo DICE-2010 que me llevaron a estimar en cuarenta y siete años el retardo medio. Por motivos de simplicidad, he redondeado dicha cifra a cincuenta años.

175. La tasa de descuento del 4 por ciento viene reflejada como la correspondiente a bienes y servicios con un horizonte de largo plazo, asumiendo también que la economía crece al 3 por ciento anual. Para saber más sobre las tasas de descuento, recomiendo regresar al capítulo 16.

176. Los puntos de inflexión que desencadenan procesos de mayor daño aparecen recogidos como $D/Y = 0{,}006\ (T/3{,}5)^{20}$. Con «.006» se alude a que los puntos de inflexión que se desencadenan por encima de 3,5 grados centígrados equivalen al 0,6 de la renta mundial. Con (T/3,5) se indica que el umbral es, en efecto, de 3,5 grados de calentamiento. El exponencial (20) conduce a una importante discontinuidad a partir del punto en que se rebasan los 3 grados centígrados.

177. La ecuación correspondiente sería la siguiente: $C(T) = A(T) + \theta D(T)$. En dicha ecuación, C son costes totales, A son costes de reducción, D son daños y T alude a la temperatura, siendo θ un parámetro incierto. El coste más bajo se consigue si θ alcanza los niveles esperados.

178. United Nations, *Rio de Janeiro Conference on Environment and Development* (junio de 1992). Disponible en: <http://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm>.

179. Éste es un detalle estadístico importante. Pensemos por ejemplo que el umbral crítico para la capa de hielo de la Antártida Occidental se sitúa entre 3 y 5 grados centígrados. Por simplificar, supongamos que se trata de una distribución uniforme o que cada valor entre 3 y 5 grados centígrados tiene la misma probabilidad de ser el umbral crítico. Desde un punto de vista probabilístico, ya no estaríamos ante un umbral. Más bien, diríamos que hay una posibilidad cada vez mayor y más certera de que se desencadene este resultado peligroso cuando se den una serie de circunstancias.

180. Amber Mahone, Katie Pickrell y Arne Olson, «CO_2 Price Forecast for WECC Reference Case», Scenario Planning Steering Group, Report of Energy & Environmental Economics (mayo de 2012).

181. Sobre la dimensión ética del cambio climático, recomiendo el libro *Climate Matters: Ethics in a Warming World*, de John Broome (Nueva York: Norton, 2012). Leyendo este trabajo con detenimiento, uno se da cuenta de lo difícil que es proceder siempre con la ética como principio rector, puesto que la realidad es muy compleja y los niveles de emisiones de CO_2 son significativamente elevados. Eso sí: muchos de los dilemas éticos que plantea Broome se resolverían asignando al carbono su verdadero precio.

182. Interagency Working Group, «Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, United States Government», *Technical Support Document: Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866* (2010). Disponible en: <http://www.epa.gov/oms/climate/regulations/scc-tsd.pdf>.

183. William Nordhaus, «Estimates of the Social Cost of Carbon: Background and Results from the RICE-2011 Model», Cowles Foundation Discussion Paper n. 1826 (octubre de 2011). Disponible en: <http://cowles.econ.yale.edu/P/cd/cfdpmain.htm>.

184. Cálculos del autor tomados de: Leon Clarke et al., «International Climate Policy Architectures: Overview of the EMF 22 International Scenarios», *Energy Economics* 31 (2009), pp. S64-S81.

185. Los cálculos se construyeron en términos de «forzamientos de radiación» en lugar de medir estrictamente temperatura. Éstas son las estimaciones del proyecto EMF-22 para el escenario en el que los forzamientos de GEI de larga duración se limitan a 3,7 w/m^2. Los modelos excluyen los aerosoles y otros gases similares, por lo que tienden a sobrestimar la trayectoria de la temperatura. Las proyecciones de la iniciativa EMF-22 indican que el escenario de 3,7 w/m^2 se correspondería con un aumento de la temperatura de aproximadamente 3 grados centígrados (en ausencia de otros forzamientos). Sin embargo, si se incluyen los aerosoles, estaríamos más cerca de los 2,5 grados centígrados. Para una discusión técnica, ver: Leon Clarke et al., «International Climate Policy Architectures».

186. Impacto en los precios en un supuesto en el que la demanda no responde (elasticidad de precio cero para la demanda) y en el que el precio de la oferta no cambia (la oferta es perfectamente elástica respecto a los precios). Es probable que esto exagere el impacto del precio, en particular para los artículos gravados con impuestos que no se negocian internacionalmente. Los cálculos, de elaboración propia, están basados en los niveles de consumo de Estados para 2008, con cifras de la Administración de Información Energética de Estados Unidos (EIA).

187. La tabla toma como referencia el consumo de un hogar medio de Estados Unidos y calcula el impacto de un precio del carbono fijado en 25 dólares por tonelada emitida. Hay que tener en cuenta que los impactos son mucho mayores en los sectores intensivos en carbono, caso de la gasolina para automóviles o de la electricidad. Ocurre lo contrario en otros ámbitos, como por ejemplo los servicios financieros. Esta tabla excluye las emisiones de otros sectores, como la Administración Pública. Por tanto, el total es más pequeño que el arrojado por la tabla 6. Este cálculo supone que la generación de electricidad bebe en un 50 por ciento del carbón y en otro 50 por ciento del gas natural. La calculadora de emisiones para viajes aéreos es una herramienta de la Organización Internacional de Aviación Civil (ICAO, por sus siglas en inglés). Ver «Carbon Emissions Calculator». Disponible en: <http://www2.icao.int/en/carbonoffset/Pages/default.aspx>. Los precios de los vuelos fueron tomados del portal comparador Expedia (a un promedio de 300 dólares por desplazamientos de ida-vuelta). La información de la intensidad del CO_2 en industrias más limpias proviene de los trabajos de Mun S. Ho, Richard Morgenstern y Jhih-Shyang Shih («Impact of Carbon Price Policies on U.S. Industry», *Resources for the Future*, Working Paper RFF DP 06-37, noviembre de 2008). Las cifras de consumo parten de que dicha rúbrica asciende al 67 por ciento del PIB en una economía de 125 millones de hogares.

188. Datos de la Oficina Presupuestaria del Congreso de Estados Unidos. Ver: Congressional Budget Office, «The 2012 Long-Term Budget Outlook» (enero de 2013). Disponible en: <http://www.cbo.gov/publication/43907>.

189. Elaboración propia a partir de ICE Europe: <http://www.theice.com>. Los precios presentados son una media estadística.

190. Para saber más sobre el diseño de un impuesto al carbono, ver: Gilbert E. Metcalf y David Weisbach, «The Design of a Carbon Tax», *Harvard Environmental Law Review* 33 (2009), pp. 499-566.

191. Para una comparativa más exhaustiva de ambos modelos, ver: William Nordhaus, *A Question of Balance* (New Haven: Yale University Press, 2007), cap. 7. También recomendable: Robert Stavins, *A U.S. Cap-and-Trade System to Address Global Climate Change*, Hamilton Project, Brookings Institution (octubre de 2007). Stavins prefiere el mercado de derechos combinado con el tope a las emisiones de GEI.

192. Una buena aproximación al conocimiento disponible es la que presenta Gilbert Metcalf en «A Proposal for a U.S. Carbon Tax Swap: An Equitable Tax Reform to Address Global Climate Change», *Hamilton Project*, Brookings Institution (noviembre de 2007). Disponible en: <http://www.hamiltonproject.org/files/downloads_and_links/An_Equitable_Tax_Reform_to_Address_Global_Climate_Change.pdf>. También recomendable el trabajo anteriormente citado de Metcalf y Weisbach, «The Design of a Carbon Tax».

193. Para un análisis de experimentos exitosos y fallidos en este campo, ver: Inge Kaul, Isabelle Grunberg, y Marc Stern (eds.), *Global Public Goods: International Cooperation in the 21st Century* (Oxford: Oxford University Press, 1999).

194. Scott Barrett, *Environment and Statecraft: The Strategy of Environmental Treaty-Making* (Oxford: Oxford University Press, 2003).

195. United Nations, «United Nations Framework Convention on Climate Change» (1992). Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>.

196. Datos del Centro de Análisis de la Información sobre Dióxido de Carbono (CDIAC) y elaboración propia del autor.

197. Para un resumen de estas cumbres y de los informes que se generaron al calor de las mismas, ver: «United Nations Framework Convention on Climate Change». Disponible en: <http://unfccc.int/2860.php>.

198. Elaboración propia del autor, a partir de la base de datos de los Indicadores del Desarrollo Mundial del Banco Mundial. Disponible en: <http://databank.worldbank.org/ddp/home.do>.

199. El reto de incorporar la corrupción en los cálculos de sistemas cuantitativos es, sin duda, exigente. Si se establecen topes de emisiones combinados con mercados de derechos hay un margen mucho mayor de corrupción que bajo regímenes basados simplemente en el precio del carbono. Un sistema de comercio de emisiones crea activos valiosos, en forma de permisos de emisiones negociables, y los asigna a los países. Sin embargo, la limitación de emisiones crea una escasez donde antes no existía y genera una posible fuente para buscar rentas de forma extractiva. Los peligros de estos esquemas se han demostrado en otras esferas, por ejemplo cuando se comparan las cuotas de importación con los aranceles como medidas limitadoras del comercio internacional. Dejar decenas de miles de millones de dólares en el mercado de permisos puede ser una realidad bajo un régimen internacional coherente, pero la historia nos recuerda que la privatización de activos públicos a precios artificialmente bajos puede generar prácticas corruptas que socaven el proceso. Consideremos el caso de Nigeria, que en los últimos tiempos ha generado emisiones de CO_2 en el entorno de los 400 millones de toneladas anuales. Si a Nigeria se le asignaran cuotas permutables equivalentes a las emisiones recientes que se venderían a 25 dólares por tonelada de CO_2, aparecería un mercado de hasta 10.000 millones en una nación cuyas exportaciones de petróleo rondan los 3.000 millones. Sin duda, pueden surgir muchas prácticas irregulares, especialmente dada la débil gobernanza de Nigeria y otras economías similares. El esquema del impuesto al carbono genera menos espacio para la corrupción porque no crea escasez, ni monopolios, ni rentas artificiales. El fraude fiscal pasaría a ser un juego de suma cero para las empresas y el gobierno, mientras que la evasión de emisiones sería un juego de suma positiva para las dos partes. Por otro lado, los impuestos no transfieren permisos a los gobiernos, por lo que no pueden venderse en el extranjero, lo que elimina la posibilidad de buscar rentas ilícitas.

200. Para un análisis útil de la verificación de objetivos en tratados medioambientales internacionales, ver: Jesse Ausubel y David Victor, «Verification of International Environmental Agreements», *Annual Review of Energy and Environment* 17 (1992), pp. 1-43. Disponible en: <http://phe.rockefeller.edu/verification>.

201. Para saber más, ver: Scott Barrett, *Environment and Statecraft: The Strategy of Environmental Treaty-Making* (Oxford: Oxford University Press, 2003).

202. Sobre los problemas de asegurar el cumplimiento de objetivos medioambientales, ver: Peter Drahos, «The Intellectual Property Regime: Are There Lessons for Climate Change Negotiations?», Climate and Environmental Governance Network (Cegnet) Working Paper 09 (noviembre de 2010). Para un repaso a las medidas que se han tomado a nivel nacional, mediante distintos desarrollos legales e institucionales, ver: Jeffrey Frankel, «Global Environmental Policy and Global Trade Policy», John F. Kennedy School of Government, Harvard University (octubre de 2008), RWP08-058. Frankel propone también un sistema de sanciones basado en medidas restrictivas del comercio. Su análisis también evalúa desarrollos del derecho internacional que buscan reforzar la efectividad de los tratados.

203. Barack Obama, «Discurso sobre el estado de la Unión» (12 de febrero de 2013).

204. Esta discusión sobre los impuestos sirve como una primera aproximación al tema. El análisis económico más avanzado tomaría en cuenta las posibles distorsiones de los gravámenes. La lección central que nos da la teoría del impacto de la fiscalidad en la economía es que las distorsiones tributarias pueden cambiar sustancialmente el mix óptimo de política pública. El trabajo del economista Lint Barrage, de la Universidad de Maryland, indica que las distorsiones fiscales pueden reducir el precio óptimo del carbono hasta que sea un tercio menor. Ver: Lint Barrage, «Carbon Taxes as a Part of Fiscal Policy and Market Incentives for Environmental Stewardship», Yale University (mayo de 2013). Está claro que la asignación gratuita de derechos de emisiones reduciría aún más el precio óptimo del carbono.

205. Para conocer en detalle dicho análisis, ver: *Final Regulatory Impact Analysis Corporate Average Fuel Economy for MY 2017-MY 2025 Passenger Cars and Light Trucks*. Este análisis regulatorio abarca 1.178 páginas y no tiene mucho que ver con la justificación popular que ofrecen los partidarios de este enfoque. Según el estudio, casi todos los beneficios (alrededor de 600.000 millones de dólares) son para el sector privado, vía ahorro de combustible. Dicho ahorro supera, por tanto, el coste incremental que acarrean las mejoras de la eficiencia del combustible. Sólo 5.000 de esos 600.000 millones de beneficios netos provienen de las externalidades. De hecho, podríamos decir que esos 5.000 millones son el resultado de comparar los 50.000 millones que genera la reducción de CO_2 y los 45.000 millones que supone el empeoramiento de la circulación (aumento de la congestión en la circulación). La siguiente nota al pie hace referencia a un informe que, tomando otro enfoque, llega a conclusiones similares.

206. Alan J. Krupnick, Ian W. H. Parry, Margaret A. Walls, Tony Knowles y Kristin Hayes, *Toward a New National Energy Policy: Assessing the Options* (Washington: Resources for the Future, 2010).

207. Ibíd (ver apéndice B).

208. La tabla toma como referencia un escenario similar al planteado por la Administración Obama o por el acuerdo de la Cámara de Representantes en 2009. En los capítulos 18 y 21 me refiero a dichos compromisos. La meta central que contienen ambas propuestas es reducir un 10 por ciento las emisiones de CO_2 a lo largo del período que va de 2010 a 2030. El grueso de dicha reducción se produciría al final del período.

209. National Research Council, *Effects of U.S. Tax Policy on Greenhouse Gas Emissions* (Washington: National Academy Press, 2013).

210. Esta «miopía» recibe términos más académicos en textos especializados. Se habla, por ejemplo, de «brecha de eficiencia energética», de «gap energético» o incluso de «paradoja energética». El concepto ha sido defendido por la consultora McKinsey en documentos como *Unlocking Energy Efficiency in the US Economy* (2009). También hay autores que lo critican, por ejemplo: Hunt Allcott y Michael Greenstone, «Is There an Energy Efficiency Gap?», *Journal of Economic Perspectives* 26 (1) (2012), pp. 3-28.

211. Este cálculo es similar al ejemplo de la nevera que plantea el capítulo 15. Para simplificar, asumo que la gasolina y el diésel tienen un mismo precio a largo plazo y que la tasa de descuento es cero. Si dicho indicador fuese del 5 por ciento anual, entonces el ahorro sería de 3.164 dólares. Para que el planteamiento alcanzase un punto de equilibrio, la tasa de descuento tendría que ser mucho mayor (para ser precisos, del 17,3 por ciento).

212. Para datos de ventas desglosados por tipo de combustible, recomiendo el blog de BMW. Disponible en: <http://www.bmwblog.com/wp-content/uploads/2010-Diesel-Economics2.png>.

213. Un gran libro sobre esta cuestión es *Animal Spirits: How Human Psychology Drives the Economy and Why It Matters for Global Capitalism*, de George A. Akerlof y Robert J. Shiller (Princeton: Princeton University Press, 2009); versión castellana de Miguel Grande Fernández, *Animal Spirits. Cómo influye la psicología humana en la economía* (Barcelona: Gestión 2000, 2009).

214. Alan J. Krupnick et al., *Toward a New National Energy Policy*. Ver apéndice B.

215. *Nature*, 29 de noviembre de 2012.

216. La tasa corresponde al promedio de cada lustro y asume un crecimiento medio del PIB ligeramente superior al 2 por ciento anual hasta 2050.

217. William Nordhaus, «Designing a Friendly Space for Technological Change to Slow Global Warming», *Energy Economics* 33 (2011), pp. 665-673.

218. Ibíd.

219. U.S. Energy Information Administration, *Annual Energy Review 2009*, DOE/EIA-0384 (2009).

220. Muchas de las nuevas tecnologías y de las estrategias que pueden ayudar a promoverlas vienen descritas en un especial de *Energy Economics* editado en 2011 (nº 33 de la revista).

221. Elaboración propia, salvo datos referidos a la captura y almacenamiento de carbono (CCS) que provienen de: U.S. Energy Information Administration, «Levelized Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2011». Disponible en: <http://www.eia.gov/forecasts/aeo/electricity_generation.html>.

222. Leon Clarke, Page Kyle, Patrick Luckow, Marshall Wise, Walter Short y Matthew Mowers, «10,000 Feet through 1,000 Feet: Linking an IAM (GCAM) with a Detailed U.S. Electricity Model (ReEDS)» (agosto de 2009).

223. Los datos fueron facilitados por Doug Arent, del Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL).

224. John Jewkes, David Sawers y Richard Stillerman, *The Sources of Invention* (2ª ed.) (Londres: Macmillan, 1969).

225. Para saber más, ver: William Nordhaus, «Designing a Friendly Space for Technological Change to Slow Global Warming», *Energy Economics* 33 (2011).

226. Las estimaciones para la tecnología CCS son de Howard Herzog: «Scaling-Up Carbon Dioxide Capture and Storage (CCS): From Megatonnes to Gigatonnes», *Energy Economics* 33 (4) (2011).

227. John P. Weyant, «Accelerating the Development and Diffusion of New Energy Technologies: Beyond the “Valley of Death”», *Energy Economics* 33 (4) (2011), pp. 674-682.

228. F. M. Scherer, *New Perspectives on Economic Growth and Technological Innovation* (Washington: Brookings Institution Press, 1999), p. 57.

229. Para un repaso a esta iniciativa, ver su memoria anual de 2010: Advanced Research Projects Agency-Energy, «FY 2010 Annual Report». Disponible en: <http://arpa-e.energy.gov/sites/default/files/ARPA-E%20FY%202010%20Annual%20Report_1.pdf>.

230. La primera cita es de Ron Paul, candidato presidencial por el Partido Republicano. Disponible en: <http://www.foxnews.com/us/2012/01/23/republican-presidential-candidates-on-issues>. El siguiente enlace recoge declaraciones similares de otras figuras destacadas del partido del elefante: <http://www.npr.org/2011/09/07/140071973/in-their-own-words-gop-candidates-and-science>. James Inhofe es el senador que firmó el libro *The Greatest Hoax: How the Global Warming Conspiracy Threatens Your Future* (Washington: WND Books, 2012). Para un buen ejemplo del trabajo que realizan distintos grupos de presión contra las políticas climáticas, ver: James M. Taylor, «Cap and Trade—Taxing Our Way to Bankruptcy», Heartland Institute (mayo de 2010).

231. El citado asesor ruso es Andrey Illarionov: <http://repub.eur.nl/res/pub/31008>. El exprimer ministro checo es Václav Klaus: <http://www.climatewiki.org/wiki/Vaclav_Claus>.

232. Ver la entrada dedicada al cambio climático por la Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/Climate_change>; se accedió el 28 de enero de 2011.

233. William J. Baumol y Alan S. Blinder, *Economics: Principles and Policies* (11ª ed.) (Mason: South-Western Cengage, 2010), p. 6.

234. Ver: National Academy of Sciences, «About Our Expert Consensus Reports». Disponible en: <http://dels.nas.edu/global/Consensus-Report>.

235. *Strengthening Forensic Science in the United States: A Path Forward* (Washington: National Academies Press, 2009). Disponible en: <http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12589>. En esta misma web hay otros informes similares.

236. National Research Council, *Climate Change Science: An Analysis of Some Key Questions* (Washington: National Academies Press, 2001).

237. Committee on Stabilization Targets for Atmospheric Greenhouse Gas Concentrations, National Research Council, *Climate Stabilization Targets: Emissions, Concentrations, and Impacts over Decades to Millennia* (Washington: National Academies Press, 2011).

238. IPCC, *Fourth Assessment Report*, *Impacts*, «Summary for Policymakers», pp. 5 y 10.

239. «No Need to Panic about Global Warming», *The Wall Street Journal* (27 de enero de 2012).

240. Una web interesante para conocer los argumentos escépticos es el blog Climate Change Skeptic. Disponible en: <http://climatechangeskeptic.blogspot.com>. La réplica a esta visión la recogen webs centradas en divulgar el «consenso científico» en red. Por ejemplo, destaco el siguiente manual de Grist, pensado para «debatir» con quienes no creen que existe cambio climático: Grist, «How to Talk to a Climate Skeptic: Responses to the Most Common Skeptical Arguments on Global Warming». Disponible en: <http://www.grist.org/article/series/skeptics>.

241. Este capítulo adapta buena parte de los argumentos incluidos en mi artículo «Why the Global Warming Skeptics are Wrong» (*New York Review of Books*, 22 de marzo de 2012) y en mi ensayo «In the Climate Casino: An Exchange» (*New York Review of Books*, 26 de abril de 2012). Ambos están disponibles en *NYBooks. com*. He omitido argumentos de orden retórico que tienen menos relevancia para la discusión de este libro pero sí están recogidos en mis artículos para el *New York Review of Books*.

242. ¿Cómo abordan los estadísticos el tema del aumento de la temperatura? Tomemos un ejemplo para entenderlo mejor. Muchos científicos climáticos creen que el calentamiento inducido por el CO_2 se ha acelerado desde 1980. Podemos recurrir a un análisis estadístico para ver si dicho aumento es más rápido entre 1980 y 2011 que entre 1880 y 1980. Aplicando un análisis de regresión, encontramos que, en efecto, el aumento de la temperatura sí es mayor desde 1980 en adelante. La serie *TAV*t es el promedio de tres series de temperatura global (GISS, NCDC y Hadley). Estimamos una regresión de la forma *TAV*t = α + β Año_t + γ $(\text{Año desde 1980})_t$ + εt. En esta formulación, Año_t es el año, mientras que $(\text{Año desde 1980})_t$ es 0 hasta 1980 y luego (Año -1980) para años posteriores a 1980. Las letras griegas α, β y γ son coeficientes, mientras que εt es el error residual. La ecuación estimada tiene un coeficiente sobre el año de 0,0042 (estadística *t* = 12.7) y un coeficiente sobre (Año desde 1980) de 0,0135 (estadística *t* = 8.5). La interpretación es que las temperaturas en el período 1880-1980 aumentaron 0,0042 grados centígrados por año, pero subieron 0,0135 grados centígrados por curso en el período 1980-2010. Para probar este hallazgo, aplicamos pruebas estándar que miden la significancia estadística de los datos. Desde ese prisma vemos que un coeficiente *t* como el que arrojan nuestros cálculos sólo se obtendría por casualidad menos de una vez en un millón. Por otro lado, podemos fijar otros períodos temporales y la respuesta es la misma: ha habido un aumento más rápido de la temperatura media global en los períodos más recientes.

243. B. D. Santer, C. Mears, C. Doutriaux, P. Caldwell, P. J. Gleckler, T. M. L. Wigley, et al., «Separating Signal and Noise in Atmospheric Temperature Changes: The Importance of Timescale», *Journal of Geophysical Research* 116 (2011), pp. 1-19. Desde un prisma técnico, los autores explican cómo se separa el cambio climático inducido por el hombre de las alteraciones provocadas por fenómenos naturales.

244. ¿Cómo se usan los modelos climáticos para separar los factores de cambio inducidos por el hombre de las fuerzas naturales que provocan alteraciones? En numerosos experimentos, los modeladores han calculado la consistencia de las observaciones de temperatura históricas a partir de diferentes factores. En dichos experimentos, los expertos han ejecutado sus modelos para simular la trayectoria histórica de la temperatura desde 1900 hasta el presente, con y sin CO_2 y planteando también otros factores inducidos por la actividad humana. Más precisamente, primero se hacen una serie de cálculos que incluyen sólo fuerzas naturales (como erupciones volcánicas y cambios en la actividad solar). Es la simulación «sin GEI». Después se realiza una nueva ronda de cálculos que sí incluye el CO_2 y otros gases de efecto invernadero. Es la simulación «con GEI». Luego, los expertos comparan los dos supuestos con el registro de temperatura real. Estos experimentos han demostrado sistemáticamente que las tendencias de la temperatura a lo largo del siglo XX sólo pueden explicarse si se incluyen las acumulaciones de CO_2 y otros gases de efecto invernadero. Para 2010, las simulaciones sin GEI subestiman el aumento de la temperatura real en más de 1 grado centígrado. Otra característica interesante de los cálculos realizados es la importancia que tienen los aerosoles. Si se excluye su influencia, los modelos tienden a predecir una trayectoria de temperatura por encima de la trayectoria real. Para ver un gráfico con las diferentes estimaciones y con la evolución de la temperatura real, consulte el *IV Informe de Evaluación* del IPCC (*Science*, pp. 685 y ss.). Para conocer otro estudio de reciente de interés, ver: Olivier Boucher et al., «Climate Response to Aerosol Forcings in CMIPG5», *CLIVAR Exchanges* 16, n. 2 y 56 (mayo de 2011).

245. IPCC, *Fourth Assessment Report*, *Impacts*, p. 687.

246. Sentencia del caso «Massachusetts v. Agencia de Protección Ambiental (EPA)», p. 549 (U.S. 497). El fallo fue emitido en 2007.

247. Richard S. J. Tol, «The Economic Effects of Climate Change», *Journal of Economic Perspectives* 23 (2) (2009).

248. Para entenderlo mejor, veamos un ejemplo sencillo aplicado a las políticas climáticas. Supongamos que estamos pensando en dos tipos de respuesta. La política A requiere una pequeña inversión para reducir las emisiones de CO_2 (1.000 millones de dólares) pero arroja beneficios sustanciales (10.000 millones), de modo que el beneficio neto es de 9.000 millones. La política B cuesta más (10.000 millones) pero tiene beneficios sustanciales (50.000 millones), siendo el beneficio neto de 40.000 millones. La opción B es preferible porque el beneficio neto es mayor, aunque la opción A tiene una mejor ratio coste-beneficio (10/1 en A frente a 5/1 en B). Este ejemplo muestra por qué debemos considerar los beneficios menos los costes, no los beneficios divididos entre los costes.

249. El *IV Informe del IPCC* (*Sciences*, p. 10) señala que la probabilidad de que estas estimaciones se cumplan es superior al 90 por ciento.

250. Richard Feynman, *The Character of Physical Law* (Cambridge: MIT Press, 1970).

251. Las preguntas formuladas fueron sugeridas por la Fundación Nacional de Ciencias. Las respuestas ofrecidas son medidas a lo largo del tiempo por la serie estadística «Science and Engineering Indicators». Disponible en: <http://www.nsf.gov/statistics/seind12>. Ver también: Jon Miller, «Civic Scientific Literacy: The Role of the Media in the Electronic Era», incluido en *Science and the Media*, editado por Donald Kennedy y Geneva Overholser (Cambridge: American Academy of Arts and Sciences, 2010), pp. 44-63. Los sondeos sobre calentamiento global tienen como fuente los trabajos de Harris Interactive («Big Drop in Those Who Believe That Global Warming Is Coming», Nueva York, 2 de diciembre de 2009). Disponible en: <http://www.harrisinteractive.com/vault/Harris-Interactive-Poll-Research-Global-Warming-2009-12.pdf>.

252. Miller, «Civic Science Literacy» (ver nota anterior).

253. Para esta serie se han recogido datos de encuestas sobre calentamiento global que abarcan el período 1997-2012. Están incluidas en la base de datos de Polling Report: <http://www.pollingreport.com/enviro2.htm>. Agradezco a Jennifer Hochschild haberme sugerido esta fuente. Las encuestas de Harris citadas anteriormente fueron agregadas a la muestra. De 103 cuestionarios, se han validado aquellos de Gallup, Harris y Pew Research que se repiten en el tiempo, lo que arroja un total de 67 sondeos válidos. Con dicha muestra depurada, se ha calculado qué porcentaje de la población cree que se está produciendo un cambio climático. A continuación, se han corregido los datos (con análisis de regresión) y ajustado las cifras para tener en cuenta el margen de error. El resultado viene reflejado en la figura 42, que apunta un acusado declive de 2007 a 2011, cuando el porcentaje de estadounidenses que creen que existe el cambio climático se desploma del 71 al 44 por ciento.

254. En las preguntas científicas generales, el porcentaje de aciertos fue del 56 por ciento en 1992, del 60 por ciento en 2001 y del 59 por ciento en 2010.

255. Este párrafo bebe de dos trabajos. El primero es «Believers and Disbelievers in Evolution» de Allan Mazur (*Politics and the Life Sciences* 23 (2), publicado en 2004, pp. 55-61) y el segundo es «Religion and Scientific Literacy in the United States» de Darren E. Sherkat (*Social Science Quarterly* 92 (5), publicado en 2011, pp. 1.134-1.150).

256. Estos resultados también tienden a mantenerse en estudios estadísticos que añaden más variables analíticas. Sin embargo, la causalidad de estas relaciones no se ha controlado lo suficiente. Así, dado que los puntos de vista políticos y religiosos están a su vez determinados por otras variables (como la ideología política de la familia, la religión o la educación), no podemos hacer proclamas causales inequívocas sobre los factores determinantes de los puntos de vista que defienden las personas en el plano científico.

257. Pew Research Center, «Little Change in Opinions about Global Warming» (10 de octubre de 2010).

258. Para la encuesta de Gallup, ver: Jeffrey M. Jones, «In U.S., Concerns about Global Warming Stable at Lower Levels» (14 de marzo de 2011). Disponible en: <http://www.gallup.com/poll/146606/concerns-global-warming-stablelower-levels.aspx>. Para estudiar la tendencia a largo plazo, ver: Riley E. Dunlap y Aaron M. McCright, «A Widening Gap: Republican and Democratic Views on Climate Change», *Environmental Magazine* (septiembre-octubre de 2008). Disponible en: <http://earthleaders.org/projects/psf/Dunlap%20%20McCright%202008%20A%20widening%20gap%20Environment.pdf>.

259. Casi la mitad (47 por ciento) de los encuestados por un equipo de Yale declaró que los combustibles fósiles son restos fosilizados de dinosaurios. Ver: Anthony Leiserowitz, Nicolas Smith y Jennifer R. Marlon, *Americans' Knowledge of Climate Change* (New Haven: Yale Project on Climate Change Communication, 2010). Disponible en: <http://environment.yale.edu/climate/files/ClimateChangeKnowledge2010.pdf>.

260. El principal trabajo de John Zaller sobre esta cuestión es *The Nature and Origins of Mass Opinion* (Cambridge: Cambridge University Press, 1992).

261. Shaun M. Tanger, Peng Zeng, Wayde Morse y David N. Laband, «Macroeconomic Conditions in the U.S. and Congressional Voting on Environmental Policy: 1970-2008», *Ecological Economics* 70 (2011), pp. 1.109-1.120. Agradezco a Shaun M. Tanger el haberme proporcionado los datos en bruto. ¿Cómo se establece esta medición? Por ejemplo, en 2010 se estudiaron dos votaciones sobre una enmienda referida a la Encuesta de Protección Medioambiental, tres propuestas fiscales vinculadas a la energía, una iniciativa regulatoria referida a las pinturas desarrolladas con plomo y un proyecto de construcción de un muro en la frontera de Estados Unidos con México. De esta forma se obtienen los patrones que arrojó la votación en términos ideológicos y partidistas.

262. Discurso de Ronald Reagan en la firma del informe anual del Consejo de Calidad Ambiental (11 de julio de 1984).

263. Greg Mankiw ha elaborado un listado de economistas influyentes que defienden los impuestos al carbono como enfoque de respuesta contra el cambio climático. Ver: «The Pigou Club Manifesto» (octubre de 2006). Disponible en el blog de Greg Mankiw desde: <http://gregmankiw.blogspot.com/2006/10/pigou-club-manifesto.html>. Una recopilación similar es la que ha elaborado el Carbon Tax Center: <http://carbontax.org/who-supports/conservatives>.

264. «Blinder’s Carbon-Tax Plan Provokes Strong Responses», Cartas al Director, *The Wall Street Journal* (7 de febrero de 2011).

265. Las estimaciones son muy variadas, como vemos por ejemplo en la figura 33. En 2010 estimé el precio del carbono y llegué a las conclusiones recogidas en el artículo «Economic Aspects of Global Warming in a Post-Copenhagen Environment», *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107 (26) (2010), pp. 11.721-11.726.

266. David Victor, *Global Warming Gridlock: Creating More Effective Strategies for Protecting the Planet* (Cambridge: Cambridge University Press, 2011).

267. William Nordhaus, «Economic Aspects of Global Warming» (ver nota 267).

268. Ibíd.

269. Agradezco a Nat Keohane sus comentarios y sugerencias sobre esta cuestión.

270. Las cifras de empleo son del Oficina de Estadísticas Laborales de Estados Unidos. Disponibles en: <http://www.bls.gov/oes/current/naics4_212100.htm>. En cuanto al carbón, las cifras son de la Agencia de Información Energética: <http://www.eia.gov/coal>.

271. Mun S. Ho, Richard Morgenstern y Jhih-Shyang Shih, «Impact of Carbon Price Policies on U.S. Industry», *Discussion Paper RFF DP 08-37* (Washington: Resources for the Future, noviembre de 2008).

272. Naomi Oreskes y Erik Conway, *Merchants of Doubt* (Nueva York: Bloomsbury, 2010).

273. Brown and Williamson Tobacco Corporation, «Smoking and Health Proposal» (1969). Disponible en la base de datos de la Legacy Tobacco Documents Library. Ver: <http://legacy.library.ucsf.edu>. Hay mucha literatura sobre la estrategia que adoptó la industria del tabaco para distorsionar los hallazgos científicos y promover un discurso más favorable hacia su sector. Ver: Stanton Glantz, John Slade, Lisa A. Bero y Deborah E. Barnes, *The Cigarette Papers* (Berkeley: University of California Press, 1996). También de interés: Robert Proctor, *Cancer Wars: How Politics Shapes What We Know and Don't Know about Cancer* (Nueva York: Basic Books, 2007).

274. Chris Mooney, «Some Like It Hot», *Mother Jones* (mayo-junio de 2005). Disponible en: <http://motherjones.com/environment/2005/05/some-it-hot>. El listado puede consultarse en: <http://motherjones.com/politics/2005/05/puttiger-your-think-tank>.

275. Para conocer en detalle los datos de gasto energético, ver: U.S. Energy Information Administration, «Annual Energy Review» (19 de agosto de 2010). Disponible en: <http://www.eia.doe.gov/aer/txt/ptb0105.html>. Las ventas de tabaco no incluyen los impuestos.

276. Lydia Saad, «Tobacco and Smoking», Gallup (15 de agosto de 2002). Disponible en: <http://www.gallup.com/poll/9910/tobacco-smoking.aspx#4>.

El casino del clima
William Nordhaus

Deusto es un sello editorial de Centro de Libros PAPF, SLU.
Av. Diagonal, 662-664
08034 Barcelona
www.planetadelibros.com

Primera edición en libro electrónico (epub): septiembre de 2019

ISBN: 978-84-234-3088-8 (epub)

Conversión a libro electrónico: Newcomlab, S. L. L.
www.newcomlab.com

¡Encuentra aquí tu próxima lectura!





¡Síguenos en redes sociales!

